

THESE DE DOCTORAT

ED 481 - Sciences sociales et humanités

Présentée et soutenue le : 13 mai 2024

Par : Florian AUCLAIR

Thèse pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour

Spécialité : Géographie

L'acceptabilité sociale des technologies à émissions négatives

*Comparaison du déploiement de deux projets BECCS en
Suède et en Angleterre*

Thèse dirigée par : Xavier ARNAULD DE SARTRE

JURY

Présidente

- Christine BOUISSET Professeur des universités, UMR TREE, Université de Pau et des Pays de l'Adour

Rapporteurs

- Brice LAURENT Directeur de recherche, CSI, Mines ParisTech
- Sylvie DAVIET Professeur des universités, TELEMMe, Université Aix-Marseille

Examineurs

- Olivier MASSOL Professeur, Centre Economie et Management de l'Energie, IFP School
- Yann GUNZBURGER Professeur des universités, UMR GeoRessources, Mines Nancy Université de Lorraine

Directeurs

- Xavier ARNAULD DE SARTRE Directeur de recherche, UMR TREE, Université de Pau et des Pays de l'Adour
- Sébastien CHAILLEUX Maître de conférences, UMR CED, Science Po Bordeaux



Cette thèse a été financée par l'IFP School dans le cadre
de la chaire CarMa



*Carbon Management
IFP School Chair*

<https://www.carma-chair.com/>

Remerciements

Alors que je rédige cette dernière page de remerciement (qui paradoxalement se trouve être la première que le lecteur trouvera), je réalise à peine que trois années de ma vie se sont écoulées depuis mon arrivée à l'université de Pau. Bien que la thèse soit un travail solitaire, ces trois années de travail furent ponctuées d'une multitude de rencontres sans lesquelles je suis sûr que ce travail n'aurait pas abouti. Ainsi, je souhaite montrer toute ma reconnaissance à ces personnes.

En premier lieu, j'adresse mes remerciements les plus sincères à mes deux directeurs de thèse, Xavier Arnauld de Sartre et Sébastien Chailleux, pour leurs confiances, leurs exigences et leurs minutieux et régulier travail de direction tout au long de ces trois années. Dans ce travail de direction, je n'oublie pas les membres de mon comité de suivi, Daniel Compagnon, Brice Laurent et Jean-Pierre Deflandre qui méritent toute ma reconnaissance pour leurs révisions et précieux conseils dans l'orientation de mes recherches. J'exprime aussi ma gratitude à l'ensemble des membres du jury, Yann Gunzburger, Brice Laurent, Sylvie Daviet, Olivier Massol et Christine Bouisset pour leur lecture attentive du manuscrit et leurs utiles retours.

De plus, je n'aurais jamais pu mener cette enquête sans le financement généreux de l'IFP School à travers la chaire CarMa dont je remercie vivement les directeurs Jean-Pierre Deflandre et Olivier Massol, les membres du comité scientifique Roger Aines, Sabine Fuss, Volker Sick, Jean-François Soussana et Jennifer Wilcox ainsi que les autres doctorants et post-doctorants.

Il y a d'autres chercheurs et apprentis chercheurs que je tiens aussi à saluer. Ce sont mes collègues et camarades de l'université pour leurs nombreux échanges professionnels et personnels qui ont stimulé et enrichi mes réflexions. Au risque d'en oublier quelques-uns, je tiens à citer Lionel Dupuy, Julien Mattern, Antoine Aggeri, Radina Yordanova, Lauren Matias, Camille Guilloteau, Nelson Trijean, Philbert, Samuel, Sandra, Flavie, Anna, Lolita, Julianna, Gaëlle, Romain et tous les autres.

Loin d'avoir été un travail de laboratoire, ma thèse s'est aussi nourrie de rencontres et d'échanges sur le terrain et à l'extérieur de l'université. Pour mon séjour en Angleterre, je tiens à remercier le professeur Jonatan Pinkse pour son accueil à l'université de Manchester, Jitinder Varma *for his warm hospitality and delicious cocktails* ainsi que tous les experts anglais des technologies CCS qui ont accepté de me consacrer de leur temps pour éclairer mes lanternes sur ces systèmes. De la même manière, je suis reconnaissant des entretiens avec les experts suédois et en particulier avec le professeur Mathias Fridahl qui m'a guidé vers les bonnes personnes.

Sous tout ce travail se cache le soutien, l'amitié et le réconfort de mes amis et de ma famille qui auront été présent au long de ce travail plus ou moins discrètement. Parmi eux, je tiens à citer les

bénévoles de la MJC Berlioz et particulièrement son président Charles Chéreau et son directeur Yannick Grimaud qui m'ont toujours encouragé avec une grande bienveillance. L'aumônerie des étudiants et surtout le P. Sanche de Franssu comme les moines de l'abbaye de Maylis ont été encore d'une grande aide pour prendre le recul nécessaire à la formation de mes idées. Enfin, je tiens à éclairer de ma gratitude tous mes amis de Pau et d'ailleurs qui m'ont tant aidé et réconforté, chacun à leurs manières mais toujours de la bonne façon. Même s'ils sont trop nombreux pour tous les citer, quelques noms me viennent à l'esprit : les frères Hassny : Yassir et Mehdi ainsi qu'Arthur, Michael, Lena, Simon, Damien, Myriane, Thomas, Emmanuelle, François, Edgar, Pierre, Léa, Flore, Nelson, Léo, David, Jean-Philippe, René et tant d'autres.

Et bien évidemment, je ne pouvais pas terminer ses remerciements sans évoquer les piliers discrets mais solides de ma vie que sont mes parents, Josianne et Jean-Claude. Sans eux, je n'existerais pas et je ne serais pas l'homme que je suis aujourd'hui, capable de délivrer le remarquable travail que vous vous apprêtez à lire.

Résumé :

L'un des plus grands défis du XXI^{ème} siècle est l'urgence climatique liée aux trop grandes quantités d'émissions de dioxyde de carbone générées par les activités humaines. Pour réduire le changement climatique, plusieurs solutions existent dont les technologies de captage et de stockage de carbone. Celles-ci peuvent être associées à des sources de production de bioénergie et forment alors les systèmes BECCS qui ont l'avantage de produire à la fois de l'énergie et de retirer le CO₂ atmosphérique. Aussi appelée production d'émissions négatives, cette capacité est jugée indispensable par plusieurs instances internationales comme le GIEC pour réduire l'effet de serre.

Toutefois, cette innovation soulève des controverses. Depuis des menaces sur la biodiversité jusqu'aux risques du stockage géologique du carbone en passant par la juste distribution ressources nationales, le BECCS est loin de faire l'unanimité. Tous ces débats de société rassemblés sous le nom d'acceptabilité sociale sont aujourd'hui l'un des principaux phénomènes limitant le déploiement de la technologie. La présente thèse compare deux projets BECCS en cours d'intégration en Europe, l'un en Angleterre et l'autre en Suède. En analysant de manière originale l'influence des contextes nationaux et locaux sur la formation des débats, notre enquête nous conduit vers une compréhension bi-axiale de ces réalités sociotechniques. Les phénomènes d'acceptabilité, loin d'être monolithiques, sont multiples et variées. Ils se positionnent d'une part horizontalement, le long de la chaîne de valeur de ces procédés depuis la source des émissions de CO₂ jusqu'au stockage en souterrain. D'autre part, ils évoluent aussi verticalement selon que les enjeux des débats concernent la filière technologique en général ou les modalités d'intégration territoriale d'un projet en particulier.

Contrairement à l'idée répandue, les nuisances de voisinage engendrées par le BECCS ne sont pas le principal obstacle à l'implantation. Notre étude a repéré trois obstacles, sur lesquels les recherches mériteraient d'être approfondies. D'abord, la bonne échelle de déploiement, trop petite elle n'aurait pas l'effet attendu sur le climat et trop grosse les conflits d'usage et l'indisponibilité des ressources bloqueraient sa construction. Ensuite, la répartition des compétences sur l'étendue de la chaîne de valeur du BECCS restreint aussi son déploiement. En effet, peu de pays dispose des capacités techniques, matérielles et politiques pour assurer le développement des parties amont et aval de la chaîne. Une coopération internationale, avec les risques diplomatiques et géopolitiques inhérents à une telle entreprise, nous semble indispensable. Enfin, le récit du déploiement du BECCS limite son action à l'aval de la production des émissions de CO₂. Sans intégrer un découplage entre l'activité économique et les émissions anthropiques, les contradictions d'un technofix apparaissent dans le récit et diminuent l'intérêt de cette solution devant des alternatives aux récits moins contradictoires. Elaborer un nouveau récit avec un déploiement combiné à d'autres solutions limitant directement les émissions est nécessaire pour garantir l'utilité du BECCS.

Abstract :

One of the greatest challenges of the 21st century is the climate emergency caused by the excessive quantities of carbon dioxide emissions generated by human activities since the Industrial Revolution. To reduce or even avoid this climate change, several solutions exist, including carbon capture and storage (CCS) technologies. These can be combined with bioenergy production sources to form BECCS (BioEnergy with CCS) systems, which have the advantage of both producing energy in the form of electricity or heat, and removing CO₂ from the atmosphere. This latter feature, also known as negative emissions production, is considered essential by several international bodies such as the IPCC to reduce the greenhouse effect.

However, this innovation raises a number of controversies. From threats to biodiversity to the risks of geological carbon storage to the fair distribution of national resources, BECCS is far from being unanimously supported. All these social debates, grouped together under the heading of social acceptability, are today one of the main phenomena limiting the deployment of the technology. This thesis compares two BECCS projects currently being integrated in Europe, one in England and the other in Sweden. By analysing in an original way, the influence of national and local contexts on the formation of debates, our investigation leads us towards a bi-axial understanding of these socio-technical realities. The phenomena of acceptability, far from being monolithic, are multiple and varied. On the one hand, they are positioned horizontally, along the value chain of these processes, from the source of CO₂ emissions to underground storage. On the other hand, they also evolve vertically, depending on whether the issues at stake in the debates concern the technological sector in general or the territorial integration of a particular project.

Contrary to popular belief in industrial and political circles, the nuisance caused by BECCS is far from being the main obstacle to its implementation. Our study has identified three obstacles that merit further research. Firstly, the right scale of deployment for this technology: too small and it would not have the expected effect on the climate, and too big and the conflicts of use and unavailability of resources would block its construction. Secondly, the distribution of skills across the BECCS value chain also restricts its deployment. Few countries have the technical, material and political capacity to develop the upstream and downstream parts of the chain. International cooperation, with the diplomatic and geopolitical risks inherent in such an undertaking, seems essential to us. Finally, BECCS acts downstream from the production of CO₂ emissions when these have already been emitted. Without decoupling economic activity from anthropogenic emissions, the absorption capacity of BECCS could be exceeded by the quantities released into the atmosphere, thus diminishing the value of this solution. Combined deployment with other solutions directly limiting emissions is therefore necessary to guarantee the usefulness of BECCS.

Liste des sigles, acronymes et abréviations :

BECCS : BioEnergy Carbon Capture & Storage en anglais. Ce sont les technologies de captage et de stockage de carbone en association avec des usines de production de bioénergie.

CCS : Carbon Capture & Storage en anglais. Il s'agit de l'ensemble des technologies de captage et de stockage du dioxyde de carbone.

CO₂ : le dioxyde de carbone, principal gaz à effet de serre.

DACCS : Direct Air Carbon Capture & Storage en anglais. Parmi les technologies de captage et de stockage de carbone, ce sont celles qui captent directement le dioxyde de carbone depuis l'atmosphère.

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat -
<https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/>

HSE : Health and Safety Environment en anglais. C'est le département pour la santé, la sécurité et l'environnement dans les sociétés commerciales ou les instances gouvernementales.

IAM : Integrated Assessment Model en anglais – les scénarios d'évolution du climat sur lesquels reposent les recommandations.

IEA : International Energy Agency en anglais – Agence internationale d'énergie, en français, est une organisation internationale destinée à faciliter la coordination des politiques énergétiques des Etats membres.

NET: Negative Emissions Technologies en anglais. C'est l'ensemble des technologies à émissions négatives, c'est-à-dire qui retire du dioxyde de carbone de l'atmosphère.

SO_x composés volatils de l'oxyde de soufre, un des principaux responsables des pluies acides.

NO_x : composés volatils de l'oxyde d'azote, aussi responsable des pluies acides.

TABLE DES MATIERES

Avant-propos	10
• INTRODUCTION : L'URGENCE CLIMATIQUE ET LE BECCS	12
I. Une solution technologique au réchauffement climatique	13
II. Les problématiques au déploiement du BECCS	23
Iii. Notre approche : l'étude de la territorialisation du BECCS	32
• PREMIER CHAPITRE : ETAT DE L'ART	39
Introduction	40
I. Les fondamentaux de l'acceptabilité sociale.....	40
II. Une seule acceptabilité ou des acceptabilités sociales ?	52
III. Les acceptabilités sociales appliquées au BECCS et au CCS.....	56
IV. Proto-cadre et problématique.....	73
• DEUXIEME CHAPITRE : CADRAGE ET METHODOLOGIE	76
Introduction	77
I. Le cadre de l'étude contextuelle.....	77
II. Nos objets d'étude pour l'application du cadre	90
III. La méthodologie	98
• TROISIEME CHAPITRE : LE BECCS EN ANGLETERRE	106
Introduction : une centrale contestée depuis longtemps.....	107
I. 1964-1990 : Drax, l'épigone de la grandeur du charbon au royaume-uni	109
II. 1990-2005 : Une financiarisation en façade et une politisation en coulisse.....	116
III. 2005-2015 : Stocker le carbone, une démarche hasardeuse au royaume-uni	125
IV. 2012- 2027 : La conversion à la biomasse, un financement très politique	140
Conclusion : beaucoup de transformations pour une seule centrale	149
PARTIE II : LES CONTROVERSES SUR L'ARRIVEE DU BECCS A DRAX	
I. Une légitimité questionnée par le carbone et la biodiversité	150
II. D'un pôle à l'autre, une légitimité sociale en écho à une légitimité environnementale	156
III. Une légitimité politique fragilisée par un bilan économique bancal	161
IV. Le salaire de la peur dans un tuyau ? Les dangers des pipelines de CO ₂	168
V. Moins de carbone, plus de vent ? Les conflits d'usage en mer du nord	172
Conclusion : des enjeux concentrés en amont et des questions sur la filière	177

• QUATRIEME CHAPITRE : LE BECCS EN SUEDE	179
Introduction : le BECCS en Suède a-t-il plus de chance de réussir qu'au Royaume-Uni ?	180
I. Le déséquilibre matériel et agentiel entre l'aval et l'amont de la chaîne de valeur.....	181
II. L'environnement techno-politique suédois aussi en faveur de l'amont.....	186
III. La Suède au carrefour international de l'intégration du BECCS.....	198
IV. Le cas de Stockholm ou la décentralisation du déploiement du BECCS	202
Conclusion : un alignement des niveaux politiques pour le développement de l'amont du BECCS....	215
PARTIE II : L'ACCEPTABILITE DE KVV8, CRISTAL DU NET ZERO EN SUEDE	
I. L'effet structurant du NIMBY: des souvenirs qui réveillent des craintes	217
II. La difficile augmentation de l'échelle de production	225
III. L'économie du BECCS dans l'alambic de Stockholm Exergi	227
IV. Les oppositions de principe au BECCS en Suède	234
Conclusion : des promoteurs craintifs et des opposants discrets.....	239
• CINQUIEME CHAPITRE : L'ANGLETERRE ET LA SUEDE FACE A FACE	240
Introduction : des terrains parfaitement complémentaires.....	241
I. Dépendances au sentier et comparaison des contextes nationaux	242
II. Comparaison des acceptabilités : plus de ressemblances que de différences.....	265
III. Un contexte déterminant ...mais pas partout	272
IV. Les enjeux d'acceptabilité propres à la technologie du BECCS.....	276
Conclusion : une technologie controversée quel que soit le contexte.....	279
• CONCLUSION : L'ACCEPTABILITE DU BECCS EN QUESTION	280
I. Des enrichissements de la littérature sur l'acceptabilité du BECCS.....	282
II. Les trois principaux obstacles socio-politiques au déploiement.....	284
Bibliographie:	289

AVANT-PROPOS

Qu'est-ce qui peut pousser un ingénieur des Mines de Paris à entreprendre un doctorat en sciences sociales ? Cette question m'a été posée bien plus de fois que la question de mon sujet de thèse. Ce choix interroge nombre de personnes à commencer par les professeurs de sciences sociales et les ingénieurs. Avant de me lancer dans cette « reconversion » académique, je n'imaginai pas que le cloisonnement entre les disciplines était autant ancré dans les esprits de mes contemporains. En réalité, loin de voir cette aventure académique dans une discipline nouvelle comme une reconversion, je l'ai entreprise comme un complément normal d'une formation intellectuelle complète. En effet, dire que les ingénieurs ne sont pas équipés pour comprendre le monde qui vient est un euphémisme.

Les ingénieurs ont connu des époques fastes entre le XIX^e et le XX^e siècle en transformant profondément l'économie de leurs pays par leurs prouesses techniques, le déploiement d'une industrie toujours plus efficace et des infrastructures de transport et de communications aujourd'hui devenues indispensables. Le XXI^e siècle ne s'annonce déjà plus comme différent, il l'est. Les principes d'utilisation des ressources, d'optimisation et d'efficacité qui guidaient jusqu'à présent leurs travaux sont désormais battus en brèches. Au cours d'un discours de promotion, les ingénieurs de l'AgroParisTech ont exposé en avril 2022, l'inadéquation entre les aspirations citoyennes face aux nouveaux enjeux sociaux et écologiques et la réalité du travail des ingénieurs. De la même manière, Olivier Lefebvre, ingénieur en robotique, dresse en mai 2023 dans son livre *Lettre aux ingénieurs qui doutent* un constat semblable.

Car les ingénieurs considèrent que [la dissonance entre leurs aspirations et leur travail] fait partie intégrante de leur métier. Comme une sorte de pacte tacite, quasiment inscrit dans leur contrat de travail : « Tu auras une vie confortable [...] ; mais le prix de cette tranquillité bourgeoise c'est que tu ne devras [...] jamais demander "pourquoi" tu dois développer ceci ou cela, mais simplement "comment" ». [Olivier Lefebvre, interview par Séverin Graveleau, 2023]

C'est bien cette question du « pourquoi » qui m'a concerné dans mon expérience professionnelle d'ingénieur chez un grand énergéticien français. Pour être plus précis, la question que je me suis posée est celle-ci : « Est-il encore possible d'appliquer les mêmes méthodes de travail sans savoir pourquoi nous les appliquons ? ».

Les motivations de l'ingénieur n'ont pas changé depuis la naissance de la profession. Il s'agit, depuis la fondation de l'École Polytechnique en 1794, d'associer la science et l'action, de mettre la

première au service de la seconde, autrement dit d'appliquer des savoirs théoriques à des questions pratiques (Lamé, 2009). Les objectifs de cette formation sont de résoudre des problèmes concrets, de proposer des solutions innovantes pour faciliter la vie des personnes et de transformer le monde pour le rendre plus hospitalier. Or aujourd'hui, la science nous indique que l'action de l'industrie, de l'énergie et des transports, principaux fiefs des ingénieurs, transforme dangereusement le monde, en dégradant le climat, la biodiversité et la santé. C'est un retournement de situation qui interroge. C'est ce qui m'a interrogé !

Avant d'être celle d'un chercheur en sciences sociales, ma démarche est d'abord celle d'un ingénieur en proie aux grandes interrogations socio-environnementales et aux modifications inévitables de son rôle au XXI^e siècle. Travailler sur l'acceptabilité sociale d'une technologie à émissions négatives, qui semble prometteuse pour l'amélioration du climat était une opportunité en or de répondre à mes questions personnelles tout en contribuant à résoudre une partie de la crise climatique.

C'est justement dans le cadre de ces interrogations nouvelles que prend place mon travail et c'est pourquoi il est important d'en expliciter les contours dès maintenant.

INTRODUCTION

L'urgence climatique et le BECCS

L'absence d'acceptabilité sociale empêche-t-elle de sauver le climat ?

I. Une solution technologique au réchauffement climatique

La captation du carbone : vraie solution ou faux espoir titrait Les Echos l'an dernier¹. Cette extrême ambiguïté résume encore aujourd'hui les dispositions tant du public que des décideurs sur les technologies de captage et de stockage du carbone. Certains les trouvent nécessaire pour lutter contre le réchauffement climatique alors que d'autres les jugent néfastes. L'incertitude sur la faisabilité de leur déploiement alimentent ces controverses qui s'intensifient au fur et à mesure que les répercussions écologiques et sociales du changement climatique sont de plus en plus sensibles.

Or ces technologies ne sont pas anodines et portent en une vision politique de la société. Par conséquent, les positionnements des acteurs politiques par rapport à celles-ci sont de plus en plus source de tensions entre les gouvernants et les citoyens, mais aussi entre les citoyens eux-mêmes. Quelles soient conservatrices ou révolutionnaires, des visions opposées du futur agitent la vie sociale et politique générant des débats autour de ces techniques mais aussi plus largement sur les moyens de production de l'énergie. Bien que toutes ces positions s'accordent sur l'importance de la lutte contre la menace globale qu'est le réchauffement climatique et sur la priorité que doit représenter la réduction des gaz à effet de serre, le consensus sur le CCS et ses variantes semble inatteignable.

Dans cette introduction, nous allons voir dans une première partie ce qui constitue le réchauffement climatique et comment le BECCS pourrait être une solution viable pour cette crise. En effet, le dioxyde de carbone, principal gaz à effet de serre est au centre de la raison d'être du BECCS. Dans une seconde partie, nous verrons que même s'il propose une solution à un problème, le BECCS risque de faire émerger d'autres problèmes notamment sur la disponibilité de certaines ressources et des conflits d'usage. Dans une dernière partie, nous détaillerons la manière dont nous avons abordé ce travail en présentant le plan du manuscrit.

I.1. Le réchauffement climatique : notre problème !

Ce phénomène de hausse rapide et inédite des températures moyennes mondiales à cause d'une augmentation de la concentration des particules de dioxyde de carbone dans l'atmosphère peut être considéré à juste titre comme une urgence climatique. Depuis les années 1980, toutes les températures moyennes sont au-dessus de la moyenne des deux derniers siècles.

¹ Site consulté en octobre 2022 : <https://www.lesechos.fr/weekend/planete/la-captation-du-carbone-vraie-solution-ou-faux-espoir-1915168>

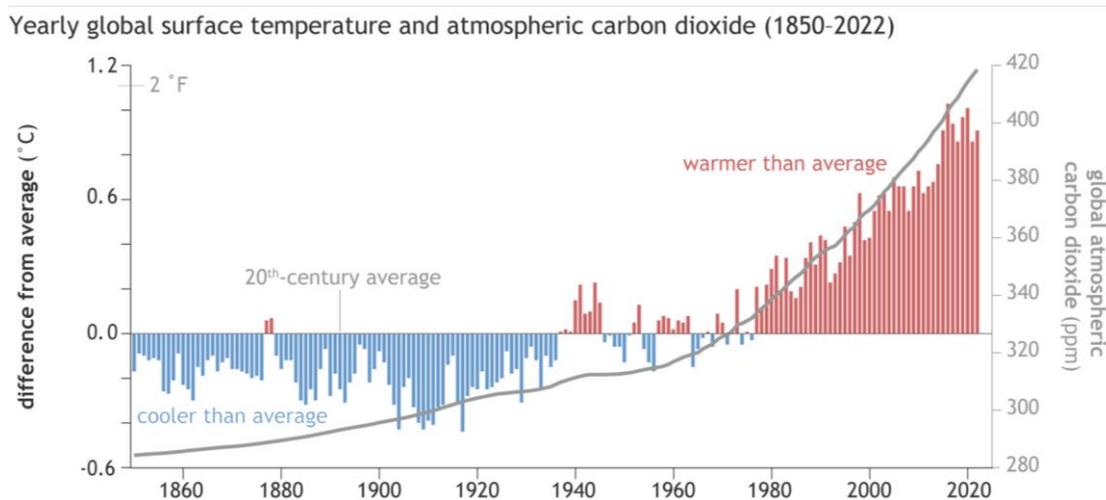
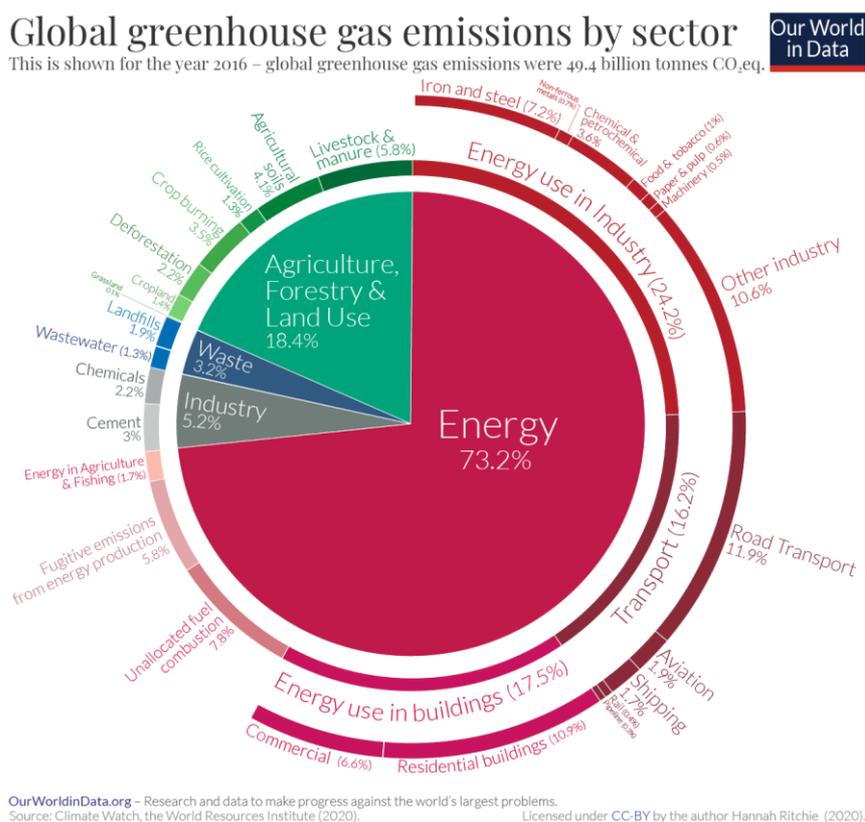


Figure 1 : Évolution des températures moyennes annuelles et des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère depuis 1850, source : NOAA

Principal responsable de cette augmentation, le dioxyde de carbone, invisible et inodore, est relâché dans l'atmosphère principalement par les processus industriels de transformation de la matière (papeterie, cimenterie, sidérurgie, etc.), l'agriculture et la combustion d'énergies fossiles dans les transports, le chauffage ou la production d'électricité. Toutes ces activités servent et sont initiées par des humains, c'est pourquoi ces émissions sont dites anthropiques. La lutte contre l'urgence climatique revient donc à réduire voire inverser les quantités d'émissions anthropiques.

Parmi les sources d'émissions anthropiques, la plus importante est celle du secteur énergétique. La production d'énergie requiert très souvent la combustion d'énergies fossiles responsable de près des trois-quarts des émissions anthropiques de CO₂. Ainsi décarboner l'électricité et la chaleur, les deux principaux vecteurs d'énergie est devenu une priorité pour les citoyens, les industriels et les acteurs politiques.



Au centre de la transition énergétique, ce glissement d'une énergie carbonée à une énergie verte stimule la créativité et l'inventivité des solutions. Développer de nouvelles machines de production et améliorer l'efficacité énergétique des technologies existantes est du ressort de la modernisation écologique. Cette stratégie, qui a l'avantage d'allier économie et écologie, est une forme modifiée du capitalisme. Elle en a les inconvénients. En stimulant la production de nouvelles technologies, elle motive l'exploitation des ressources principalement minérales, par exemple, les métaux nécessaires au développement des motorisations électriques ou la fabrication des batteries, et organiques, comme les cultures intensives pour la bioénergie.

En plus de l'urgence climatique, notre planète fait également face à une diminution de l'ensemble de ces ressources disponibles (eau, biomasse, charbon, minerais, etc.). Faisant ainsi douter de la pérennité de la modernisation écologique. D'autres perspectives d'adaptation au changement climatique sont proposées telles que celui de la sobriété, qui prônent en priorité une réduction de la consommation énergétique avant une transformation de la production. Une consommation réduite entraînerait automatiquement une baisse de l'usage des ressources. Bien que cette stratégie de décarbonation ait fait son apparition dans le sixième rapport du GIEC², elle reste encore minoritairement mise en œuvre dans les politiques publiques. Même si la sobriété devenait la principale démarche pour lutter contre le réchauffement climatique, elle ne pourrait pas éviter certains changements technologiques comme dans la production d'énergie par exemple. La plupart

² Site consulté en août 2021 : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20250_4pages-GIEC-2.pdf

des analystes s'accordent non pas pour privilégier un type de stratégie par rapport à un autre, mais pour réaliser un mix de celles-ci afin de minimiser les inconvénients de chacune d'entre elles et d'en maximiser les avantages.

Étudier l'impact des technologies vertes et de toutes celles qui participeront de près ou de loin à la lutte contre le réchauffement climatique est nécessaire pour faire les bons choix et éviter de prendre des risques démesurés sur l'usage des ressources, les pollutions et dans des situations socio-politiques tendues. Parmi ces nombreuses innovations techno-environnementales, il convient de noter la place particulière des technologies à émissions négatives (NETs en anglais pour Negative Emissions Technologies). Celles-ci n'ont pas pour objectif d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes existants ou de fonctionner à partir d'une source d'énergie renouvelable. Leur principale fonction est de retirer le dioxyde de carbone de l'atmosphère pour limiter l'effet de serre et ainsi au pire contenir le réchauffement climatique et au mieux l'inverser.

Pour mieux saisir le principe de ces procédés, il convient de détailler brièvement le cycle du carbone et les dynamiques de cette molécule entre les différents réservoirs terrestres. Le carbone est un élément qui ne se trouve que très rarement seul dans la nature, il s'associe toujours avec d'autres éléments pour former par exemple, avec de l'oxygène, du dioxyde de carbone, avec de l'hydrogène, des hydrocarbures ou encore avec de l'azote, du cyanure. De ces multiples associations, il résulte que le carbone « voyage » facilement entre plusieurs écosystèmes. Par souci de simplicité, le cycle du carbone est réduit à quatre environnements : l'atmosphère, l'enveloppe gazeuse autour de la Terre ; la biosphère, l'ensemble des organismes vivants ; l'hydrosphère, toute l'eau présente sur Terre sous toutes ses formes et la lithosphère, l'enveloppe minérale de la planète.

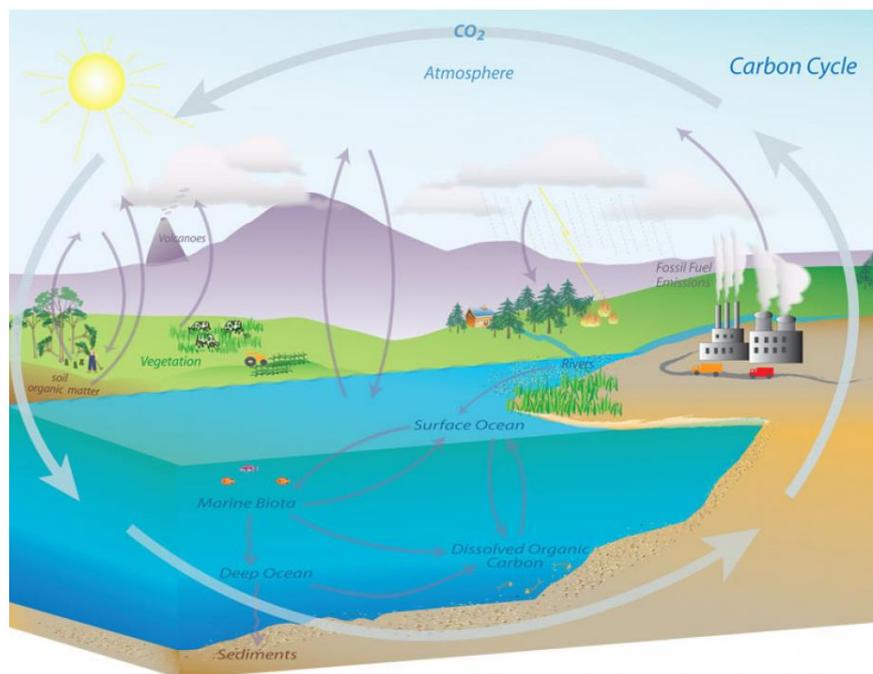


Figure 2 : Représentation du cycle du carbone, NOAA

I.2. Les technologies à émissions négatives : notre solution ?

Le concept de base des NETs repose sur le principe que le réchauffement climatique est causé par une saturation du réservoir atmosphérique en carbone, en dioxyde de carbone précisément. Un transfert du carbone de ce réservoir vers un autre est donc nécessaire pour désencombrer l'atmosphère. Divers procédés existent depuis la dissolution océanique jusqu'à l'amendement des sols agricoles. Toutefois, toutes les techniques ne se valent pas notamment en raison des quantités potentielles de stockage de carbone des réservoirs (Atmosphère : 750 Gt, Biosphère : 2000 Gt, Hydrosphère : 40 000 Gt, Lithosphère : 40 000 000 Gt) et des méthodes de captage du CO_2 . En plus d'offrir le plus grand espace de stockage, la lithosphère offre la plus grande permanence de stockage. Les technologies à émissions négatives mettent toutes en œuvre des procédés de stockage, mais aussi de captage différent de celles du BECCS avec leurs avantages ou inconvénients. Les présenter permet de mieux comprendre la place particulière qu'occupe le BECCS dans cette nouvelle catégorie de technologie.

Elles sont catégorisables selon le type de zone de stockage et de procédé de captage. Le stockage du carbone peut être réalisé dans l'un des principaux réservoirs naturels de carbone : dans la biosphère, principalement grâce à son absorption par des végétaux, dans la lithosphère, par séquestration dans des formations minérales ou encore dans l'hydrosphère, par dissolution dans l'océan (Galvez et Gaillardet, 2012). Le procédé de captage peut être naturel, avec l'aide de la photosynthèse des végétaux ; ou artificiel, avec la fixation du dioxyde de carbone dans un solvant

chimique. L'usage de la photosynthèse comme procédé de captage a la préférence des promoteurs en raison de son coût réduit.

L'afforestation, la reforestation, le biochar, la séquestration agricole, la fertilisation océanique et le BECCS (BioEnergy Carbon Capture & Storage) utilisent toutes le captage par photosynthèse. L'afforestation et la reforestation sont des méthodes de création de forêts, puits naturel de carbone. Dans le premier cas, il s'agit de planter des arbres là où il n'y en avait pas afin de créer une forêt *ex-nihilo*. Dans le second cas, c'est la plantation d'arbres dans une forêt existante, mais clairsemée afin d'optimiser le couvert forestier et donc le captage naturel du carbone. Le biochar est un engrais issu de la pyrolyse de la biomasse, la combustion sans oxygène de la matière organique. Capable d'améliorer la productivité agricole tout en stockant du carbone, le biochar est une solution de décarbonation de l'atmosphère qui tend à être de plus en plus considérée (Safarian, 2023). La séquestration agricole, quant à elle, consiste en un changement de pratiques agroécologiques de manière à ce que les plantes cultivées transfèrent naturellement plus de carbone dans le sol. La fertilisation océanique a pour objectif de stimuler la croissance des phytoplanctons, des organismes à la base de la chaîne alimentaire marine qui capte aussi du carbone dans leur croissance. Enfin, le BECCS en plus de capter et de stocker le carbone, brûle de la biomasse dans des fourneaux pour produire de l'énergie, mais nous y reviendrons. Toutes ces méthodes connaissent des limites selon leur mode de stockage et de captage (Pires et al., 2019 ; Jeswani et al., 2022).

De plus, le captage par photosynthèse requière la croissance des végétaux, plantes ou arbres, qui une fois arrivée à maturité sont valorisables sur un autre marché que celui de la production d'émissions négatives. Le captage apparaît donc comme un procédé parallèle à la production d'une autre marchandise. Son coût est virtuellement très faible, voire inexistant. À l'inverse, le captage chimique mis en œuvre dans le DACCS (Direct Air Carbon Capture & Storage), l'alcalinisation océanique ou l'érosion artificielle est un processus direct, mais beaucoup plus coûteux (Erans et al., 2022).

Les différents procédés de stockage se démarquent par leur coût et leurs quantités de stockage potentielles, très dépendantes du réservoir naturel de destination. Stocker le carbone dans la biosphère grâce à l'afforestation, la reforestation, le biochar ou la séquestration agricole est relativement aisé, bon marché, mais les quantités seront faibles. La dissolution océanique par alcalinisation ou fertilisation offre de plus grandes possibilités, mais l'enfouissement lithosphérique est de loin la méthode offrant l'espace disponible le plus vaste. Le BECCS (BioEnergy Carbon Capture & Storage) et le DACCS (Direct Air Carbon Capture & Storage) se démarquent toutes deux, car ce sont les seuls en mesure de stocker le dioxyde de carbone dans des réservoirs

géologiques souterrains. Même si l'espace de stockage est identique, les moyens du captage varient sensiblement d'une technologie à l'autre.

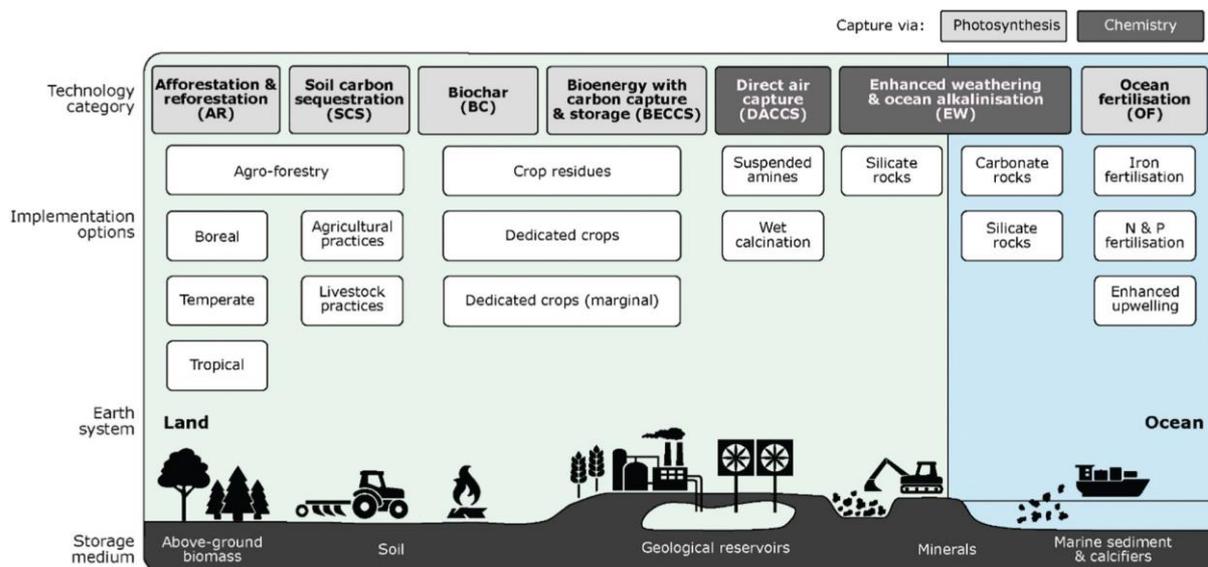


Figure 3 : Panorama des technologies à émissions négatives (Erans et al, 2022)

Le DACCS se présente sous la forme d'un mur de ventilateurs en extérieur. L'air aspiré par ces ventilateurs circule dans un tuyau dans lequel un solvant chimique fixe le dioxyde de carbone. Le solvant saturé en CO₂ est ensuite chauffé à haute température dans un réceptacle clos qui récupère sous forme gazeuse les ébullitions de dioxyde de carbone. Le CO₂, pur à plus de 90 % est enfin liquéfié par refroidissement et compression pour être injecté définitivement dans un ancien gisement d'hydrocarbure déplété. Les avantages de cette technologie sont sa faible emprise au sol et un usage réduit des ressources autres que l'électricité. C'est sur ce point toutefois que se situe son plus grand inconvénient. Le DACCS est très énergivore, le fonctionnement des ventilateurs et surtout la régénération du solvant (chauffage à haute température pour dégazer le CO₂) consomment de grandes quantités d'électricité. Or si cette électricité est produite à partir d'énergies fossiles, les émissions positives ne seront pas compensées et cette technologie loin d'être dépolluante sera un émetteur de carbone, rendant son principe caduc.

Le BECCS, quant à lui, capte le carbone depuis les fumées de combustion de la biomasse. Le dispositif de captage est à peu près semblable à celui du DACCS, mais la différence majeure demeure dans la source du captage. Le BECCS ne récupère pas le carbone directement depuis l'atmosphère. Il est associé à des centrales de bioénergie qui produisent de l'électricité et/ou de la chaleur grâce à la combustion de la biomasse, c'est-à-dire de la matière organique et principalement du bois. Le BECCS est donc la fusion entre la photosynthèse végétale, la production de bioénergie et le captage et le stockage du CO₂. Plus précisément, les résidus de bois sont transformés en pellets, des granulés, qui sont ensuite brûlés dans une centrale thermique. Les fumées d'échappement sont

alors filtrées par un solvant pour en extraire le dioxyde de carbone et le procédé, à ce moment devient identique à celui du DACCS, jusqu'à l'injection dans le sous-sol. L'avantage du BECCS sur le DACCS est celui de produire des émissions négatives et de l'énergie décarbonée en plus. Ainsi le bilan des émissions est toujours plus positif que dans le cas du DACCS. Son rendement de captage est également meilleur, car le CO₂ est légèrement plus concentré dans les fumées de combustion qu'il ne l'est dans l'atmosphère.

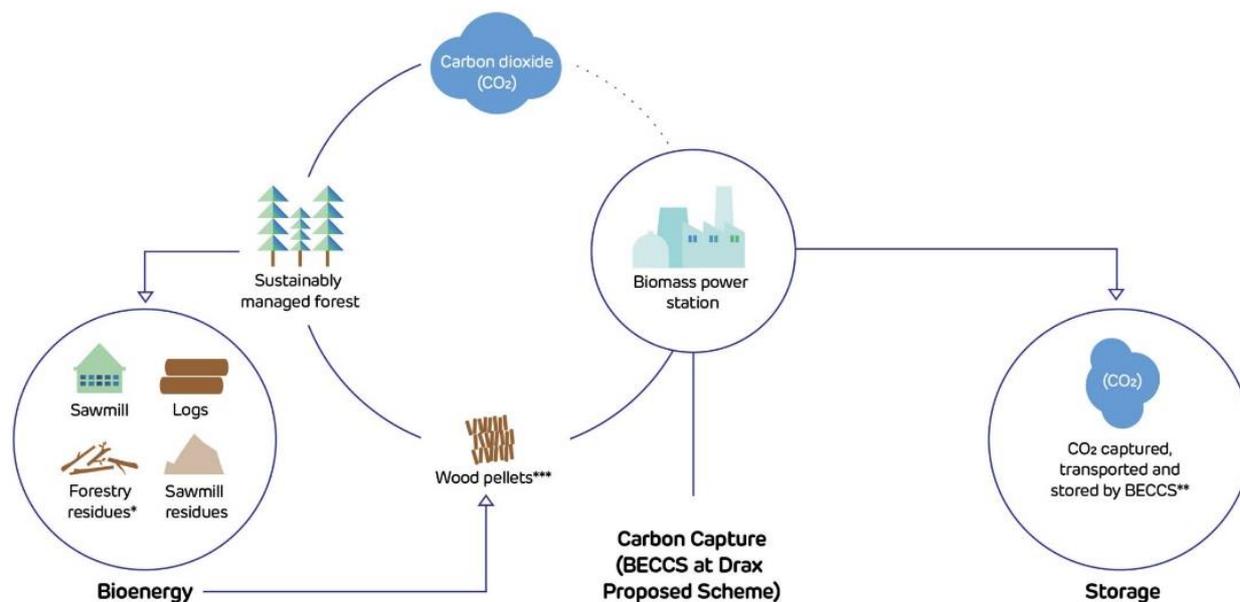


Figure 4 : Schéma de principe du BECCS, Source : Drax

Le BECCS est la seule technologie à proposer cette combinaison d'un procédé de captage naturel peu coûteux avec un stockage géologique très large. Regroupant les deux possibilités les plus optimales, c'est le système qui présente actuellement les meilleurs rendements de captage et de stockage (Shahbaz et al., 2021). De plus, par cette double production d'énergie décarbonée et d'émissions négatives, le BECCS figure parmi les solutions de décarbonation les plus efficaces. Les rapports du GIEC la placent comme un élément essentiel d'un scénario de neutralité carbone, c'est-à-dire dans laquelle le total des émissions anthropiques est réduit à zéro par réduction ou compensation.

Même si le dernier rapport du GIEC (AR6) publié en 2023 donne une part relativement faible au BECCS à l'horizon 2030 avec une participation estimée en moyenne à 300 millions de tonnes de CO₂ retirés, soit juste un peu au-dessus de 2 %, son rôle augmente significativement par la suite. L'estimation à 2030 ne reflète pas le potentiel de réduction de GES (Gaz à Effet de Serre) envisagé du BECCS, mais le niveau de contrainte de son déploiement. En effet, entre 2023 et 2030, les chercheurs du GIEC ne pensent pas que cette technologie sera développée à grande échelle étant donné les délais de construction et les investissements massifs.

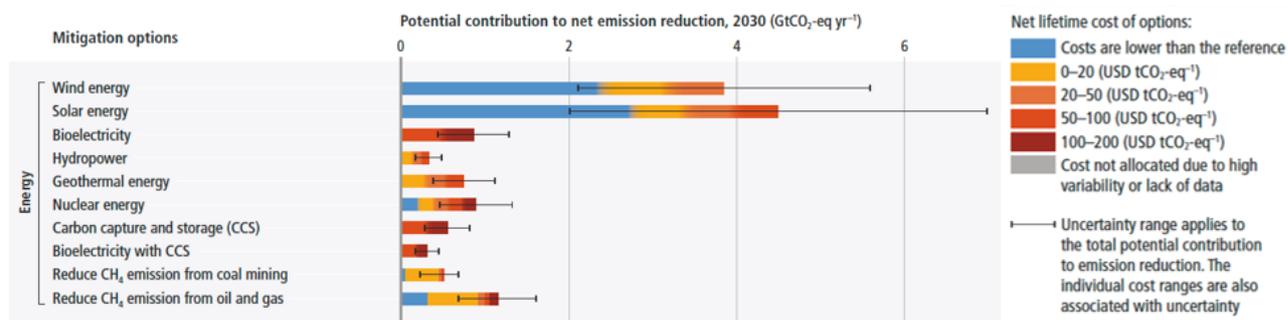
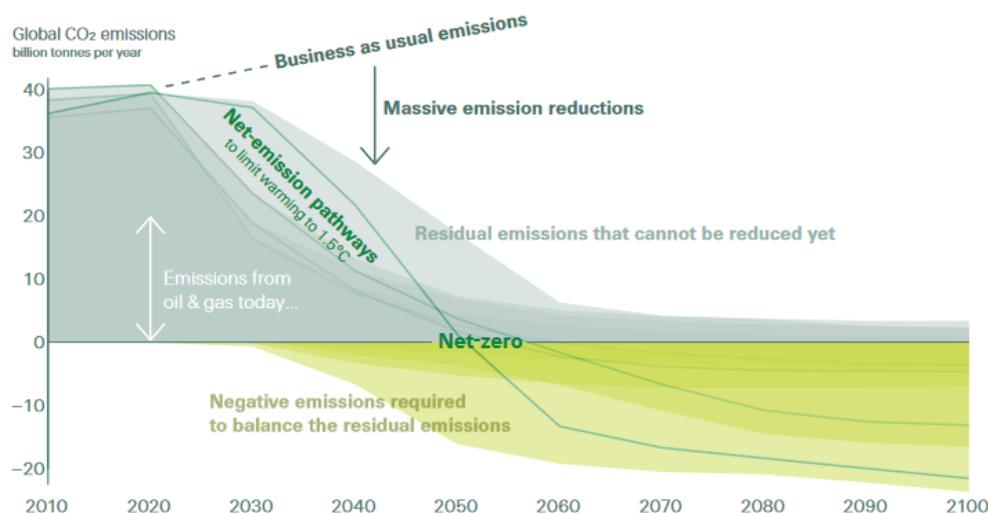


Figure 5 : Part des différentes sources d'énergie dans la réduction des GES à l'horizon avec les estimations de leurs coûts par tonnes de CO₂ évitées (source : GIEC AR6)

Toutefois, sur des horizons plus lointains, à 2050 par exemple, les productions d'émissions négatives devront augmenter significativement. Plusieurs scénarios sont produits par le GIEC selon l'augmentation de la température moyenne à la fin du siècle. Tous ces scénarios font appel à des émissions négatives dans des quantités différentes, mais celui qui est privilégié par l'Accord de Paris, c'est-à-dire celui avec une augmentation de 1,5 °C en 2100, prévoit la production de 10 milliards de tonnes d'émissions négatives par an dès 2050, et jusqu'à 20 milliards de tonnes de CO₂ absorbés par an au-delà. Les chiffres sont énormes et pour y voir plus clair, 20 milliards de tonnes de CO₂ par an correspondent aux émissions fossiles actuelles de l'ensemble de la population mondiale³.



Source: Swiss Re, based on *Global Warming of 1.5°C*, IPCC, 2018 (overlap of the scenarios P1-4).

Figure 6 : Les projections d'émissions de CO₂ jusqu'en 2100, en vert les émissions négatives. Les variations de nuance indiquent des scénarios différents. (GIEC AR5)

Toutes ces émissions négatives ne seront pas produites exclusivement par le BECCS. D'autres solutions, vues plus haut, existent. Toutefois, comme vu plus haut également, le BECCS est une des

³Site consulté en 2023 : <https://www.swissre.com/dam/jcr:31e39033-0ca6-418e-a540-d61b8e7d7b31/swiss-re-institute-expertise-publication-insurance-%20rationale-for-carbon-removal-solutions.pdf>

solutions privilégiées avec le DACCS à moyen terme, car le stockage géologique du carbone offre des capacités en termes de volume d'émissions négatives contre lesquels les autres solutions ne peuvent s'aligner. C'est pourquoi l'agence internationale de l'énergie (IEA pour International Energy Agency) estime les quantités stockées par le BECCS en 2030 à 255 millions de tonnes par an, soit dans la moyenne du GIEC. Ces quantités devraient être multipliées au moins par 5 en 2050 pour atteindre 1 380 millions de tonnes d'émissions négatives par an faisant du BECCS la principale technologie productrice d'émissions négatives.

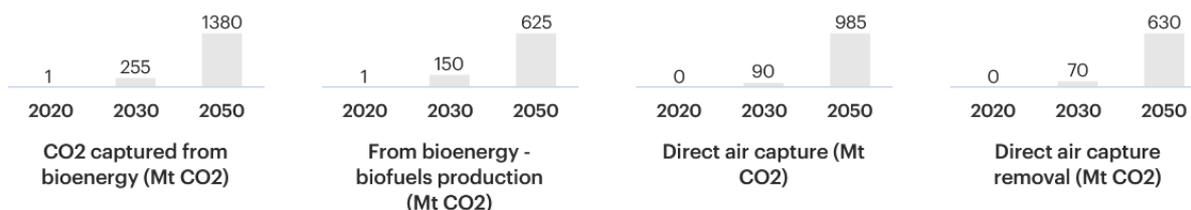


Figure 7 : Projections de production d'émissions négatives par le BECCS et le DACCS à horizon 2050 (Net Zero by 2050 by IEA, May 2021)

Atteindre ces objectifs ne sera pas évident et de nombreuses variables sont à prendre en compte au-delà des dimensions d'ordre économique ou climatique, qui sont les principaux *inputs* des modèles IAM (Integrated Assessment Model) utilisés dans l'élaboration de ces scénarios. Principalement axées sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre, ces projections sont critiquées pour s'enfermer dans le « carbon tunnel vision », une approche réductrice des changements induits par le réchauffement climatique et des implications économiques de la transition (Achakulwisut et al, 2022). En plus de négliger les aspects socio-politiques de la transition, les recommandations des IAMs sont considérées comme *top-down*. Elles récupèrent des données globales dont la granularité est rarement plus petite que celle d'un pays et formulent des solutions globales, voire nationales. Or l'intégration des technologies vertes se réalise dans un territoire plus petit qu'un pays avec des particularités historiques, culturelles et sociales qui varient sensiblement de celles moyennées à l'échelle du pays. Cette dimension caractéristique du territoire est souvent invisible dans les IAMs, conduisant à des erreurs d'appréciation pouvant conduire à l'échec de l'implantation des solutions du modèle. Low et Schäfer (2020) interrogent, par exemple, la pertinence des modèles vis-à-vis de la faisabilité des innovations dans un contexte de réduction des ressources disponibles et des conflits d'usage qu'elles pourraient générer.

Le BECCS, dont le déploiement est suggéré par les modèles du GIEC à une échelle globale (Brack et King, 2020) avec un nombre de constructions de centrales estimées à plusieurs centaines à travers

le monde⁴ est directement concerné par ces critiques. Les attentes de compensation sont remarquables allant d'une production totale d'émissions négatives de 5 GtCO₂/an (Fuss, 2018) à 12GtCO₂/an (Fajardy, 2019) à l'horizon 2050, soit entre 10 % et 30 % des émissions globales d'origine fossiles. Or cette échelle de déploiement prend peu ou pas en compte les disponibilités locales de biomasse, les conflits d'usage avec les activités existantes et les autres technologies de décarbonation ainsi que les besoins de financement.

Les promoteurs du BECCS assurent de la faisabilité technique de l'entreprise, mais alors que les chantiers n'ont pas encore commencé, de multiples controverses de toutes natures surgissent. Le BECCS pourra-t-il surmonter ces problématiques, sans remettre en question ses modalités d'intégration territoriale ? La disponibilité des ressources et des soutiens politiques seront-ils suffisants pour réaliser un déploiement global ? Est-ce que la technologie est suffisamment mûre économiquement, technologiquement et écologiquement pour s'ancrer sur des territoires ? Ce sont les questions auxquelles ce travail veut répondre.

II. Les problématiques au déploiement du BECCS

II.1. L'économie du BECCS a besoin d'une béquille

L'une des premières difficultés que rencontre le BECCS dans son déploiement est celle de son bilan économique dissuasif. Comparé à d'autres technologies de décarbonation, son coût est parmi les plus élevés (Gibbins & Chalmers, 2018). Les estimations souvent évaluées en dollars américains par tonnes de carbone stocké sont extrêmement variables selon les modèles, les technologies, le type de biomasse et les auteurs. En 2019, un rapport du Global CCS Institute⁵ donnait une fourchette entre 15 \$ et 400 \$ par tonne de CO₂, c'est-à-dire une différence de 1 à presque 300. Un tel écart montre que la maturité économique de cette technologie n'est pas encore atteinte.

Lehtveer et al. (2021) réduisent cet intervalle entre 180 \$ et 300 \$ par tonne de CO₂ en projetant une baisse jusqu'à \$100/ton CO₂ dans le futur grâce à l'optimisation, aux économies d'échelles et à la courbe d'apprentissage. Jagu et Massol. (2022) retrouvent avec une autre méthodologie, que dans des conditions favorables avec une infrastructure mutualisée, la technologie pourrait être rentable à partir de 95 \$/tCO₂. Dans des conditions moins favorables, ce seuil de rentabilité peut facilement dépasser les \$200/tonCO₂.

D'autres acteurs plus industriels introduisent dans ces estimations une quantité d'énergie pour souligner la capacité du BECCS à produire en plus de l'électricité et/ou de la chaleur, en exposant

⁴ Site consulté en 2023 : https://www.stockholmexergi.se/content/uploads/2023/03/Arsredovisning-2022_engelska_low_spreads.pdf

⁵ Rapport du Global CCS Institute sur les perspectives de déploiement du BECCS en 2018 : https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2019/03/BECCS-Perspective_FINAL_18-March.pdf

un prix par rapport au MWh produit. Ainsi en 2022, la direction de l'usine de Drax, en conversion BECCS, annonçait en prix d'environ 190 \$ par MWh⁶ et par tCO₂. Ces estimations, même si elles varient du simple au triple, donnent un ordre de grandeur autour de 200 \$/tCO₂, ce qui est déjà très élevé. Lorsque l'installation a pour objectif de stocker 8 millions de tonnes de dioxyde de carbone par an comme c'est le cas de la centrale de Drax au Royaume-Uni, l'investissement pour cette technologie atteint facilement les 2 milliards de dollars⁷.

Pour compenser ces coûts, plusieurs auteurs envisagent de coupler la production d'émissions négatives avec celles d'autres produits pour améliorer la rentabilité. Par exemple, Emenike (2021) envisage la production de biofuels comme c'est principalement le cas aux États-Unis et Davison (2009) et Almena et al. (2022) examinent la production d'hydrogène. Ces combinaisons visent en réalité à pallier au principal problème économique du BECCS, qui n'est pas seulement le coût prohibitif du captage, mais principalement l'absence de marché pour le CO₂.

Avec des prix de vente inférieurs au coût de production, des solutions sont encore envisageables pour compenser le différentiel. Mais sans client pour acheter le carbone à bon prix, les technologies dérivées n'exposeront jamais un modèle d'affaires viables.

C'est une autre problématique majeure du BECCS et du CCS qui apparaît alors dans la littérature. Celle-ci n'est pas simplement économique, mais aussi politique. Beaucoup d'auteurs abordent les obstacles au déploiement comme un problème économique pur, qui proviendrait par exemple d'une différence trop grande entre les coûts de production et les prix de vente (Johnsson et al, 2014). Ils proposent alors d'optimiser les coûts en améliorant les procédés de captage du carbone avec de nouveaux types de solvants (Levihn et al., 2019 ; Karthikeyan, 2020 ; Strege, 2022), en alternant les moyens de combustion (Gibbins et Lucquiaud, 2022), en changeant le type d'approvisionnement (Choi et al, 2019) ou encore en arrangeant différemment la chaîne de valeur (Guo et al, 2022 ; Jagu Schippers et al, 2022).

Cette recherche d'efficacité est louable, mais ne résoudra pas le problème économique qui ne réside pas dans des coûts trop élevés, mais dans l'absence de revenus. Les améliorations graduelles ne combleront pas ce trou structurel. Il n'existe encore pas de marché sur lequel vendre ce que produit cette technologie, c'est-à-dire du carbone stocké (Nuortimo et al, 2018). C'est pourquoi, de nombreux auteurs « adossent » le BE/CCS à un autre marché comme celui de l'électricité (Mechleri et al, 2017), de l'hydrogène (Rosa et Masotti, 2022) ou des biocarburants (Emenike et al, 2021).

⁶ Article de presse consulté en 2023 : <https://www.argusmedia.com/en/news/2326439-uks-drax-puts-a-cost-on-beccs>

⁷ Article de presse de Reuters consulté en 2023 : <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/britains-drax-pauses-biomass-carbon-capture-plans-urges-clarity-government-2023-03-21/>

L'objectif est ici d'attribuer les coûts d'un marché, celui des émissions négatives, sur un autre marché, celui de l'énergie. Cette nécessité ouvre une palette de nombreuses possibilités d'associations pour le BE/CCS, qui apparaît déjà comme une technologie protéiforme sujette à de nombreuses incertitudes commerciales et techniques.

Alors que les chercheurs prennent la piste de la diversification dans la production, les acteurs industriels s'ingénient à diversifier les canaux de vente. Nous verrons plus en détail leurs stratégies lors de nos enquêtes de terrain, mais déjà nous pouvons évoquer les 3 grandes sources de revenus envisagées. La première dépend directement du type d'instruments d'action publique que les gouvernements mettront en place pour soutenir le développement du BECCS. Celui-ci varie d'un pays à l'autre selon le style politique, les possibilités et les contraintes auxquelles sont soumis les pays. La deuxième source provient du marché volontaire de carbone. Il s'agit d'un moyen non-gouvernemental pour des compagnies privées d'acheter des compensations carbone pour leurs émissions. Microsoft avait fait la une en 2021 pour avoir acheté 1,3 million de tonnes d'émissions négatives pour compenser les émissions de ses propres activités. Enfin, le troisième flux de revenus proviendrait, pour les pays européens, des ventes sur l'ETS (Emissions Trading Scheme). Bien que le prix du carbone sur cette plateforme fût virtuellement nul pendant plusieurs années à cause d'un montant trop faible et de nombreuses exemptions. L'introduction de nouvelles dispositions réglementaires pourrait améliorer les conditions de vente à moyen terme.

Mais toutes ces possibilités reposent sur le postulat que le BECCS est en mesure de produire des émissions réellement négatives – or l'évaluation de « la négativité » des émissions est d'abord une affaire comptable et législative. L'incertitude des marchés du carbone ne dépend pas seulement de l'absence de client, mais aussi de questionnements sur la comptabilité du carbone (Marland et al., 2014). Relier la combustion de la biomasse à la production d'émissions négatives est une tâche ardue, car tous les produits forestiers n'ont pas le même potentiel de production d'émissions négatives.

Forest bioenergy is not a single entity, but includes a large variety of sources and qualities, conversion technologies, end products and markets. Consequently, its technological and economic efficiencies as well as climate mitigation value will vary (Berndes et al, 2016).

De ces variations inhérentes au traçage du bois (son essence, son origine) surgit alors une autre incertitude sur ce marché du BECCS, déstabilisant d'autant un développement économique crédible (Brack et King, 2020).

II.2. La faisabilité remise en question par les besoins en ressources

Au-delà des problèmes économiques liés au commerce des émissions négatives, un autre obstacle au déploiement se trouve dans les besoins d'approvisionnement en ressources de cette technologie. Après avoir estimé les ressources en biomasse nécessaires pour produire les quantités d'émissions négatives projetées par le GIEC (Consoli, 2019 ; Fridahl et Lehtveer, 2018), les chercheurs tentent d'en déduire les quantités de surface de culture, d'eau, de financements nécessaires (Berndes et al, 2016 ; Kemper, 2015).

Comme pour les prix du carbone stocké, les estimations en ressources varient selon les types de ressources envisagées et les procédés de combustion ou de captage mis en œuvre révélant encore des incertitudes sur un déploiement à l'échelle mondiale (Fajardy, 2019). En effet, certaines régions du monde ne disposeront pas de quantités de biomasses suffisantes pour compenser leurs propres émissions comme les pays avec de faibles surfaces agricoles ou les pays arides. L'abondance régionale en biomasse sera donc un élément clé pour un déploiement réussi (Muri, 2018).

L'envers de la médaille est que ce sera aussi un facteur limitant l'étendue du développement de cette technologie. Pour réduire cette limite, Butnar et al. (2020) font appel à des solutions politiques pour améliorer la collaboration internationale et ainsi élaborer des plans de gestion globalisée de la biomasse afin d'éviter de grands changements dans l'usage des terres (Butnar et al, 2020). Rosa et al. (2021) appliquent cette idée à l'échelle de l'Union européenne et estiment avec précision quelles sont les régions les plus contributrices en biomasse pour décarboner l'UE. Elles arrivent à la conclusion que sans changement sur l'usage des terres seulement 5 % des émissions de l'UE pourraient être compensées par un déploiement européen à grande échelle et cela nécessiterait encore la construction d'un large réseau de transport de CO₂ tant les zones de captage et de stockage sont distantes.

Devant ces chiffres, Dyke et al. (2021) sont sceptiques en se demandant si le résultat vaut les efforts (Dyke et al, 2021). En effet, une trop grande variation dans l'usage des terres risquerait de mettre en danger la biodiversité. Stoy et al. (2018) montrent comment les populations d'oiseaux de prairies sont sensibles aux micro-impacts sur la biodiversité à proximité des centrales BECCS (Stoy et al, 2018). L'augmentation des flux de transport par trains ou camions ainsi que la diffusion des microparticules aériennes liées à la combustion du bois ou au dégazage des solvants de captage s'avèrent néfastes pour la petite faune. Hanssen et al. (2022) montrent que les cultures forestières dédiées au BECCS qui sont souvent des monocultures en rotation courte engendreraient la disparition de dizaines d'espèces de vertébrés terrestres.

Avec ces nombreux dangers environnementaux, nous pouvons vraiment nous demander si la balance bénéfice/risque de cette technologie penche en sa faveur. C'est ce que Donnison et al. (2020) cherchent à déterminer en simulant l'intégration du BECCS dans six localisations précises. À partir de ces terrains concrets, ils calculent la valeur économique des externalités négatives telles que la pression sur l'environnement ou les perturbations pour la vie sociale et la comparent aux bénéfices du BECCS. Ils découvrent qu'à partir d'une certaine taille d'installation – celle recommandée par l'Accord de Paris – le bilan global est négatif pour toutes les localisations sauf une qui reste positif, mais enregistre quand même une diminution significative du bénéfice attendu. En tant que solution pour la crise environnementale, le BECCS n'apparaît plus aussi compétitif dans ces conditions. En plus de l'emprise au sol du BECCS, un autre point qui vient grever son bilan écologique est sa forte consommation d'eau.

L'eau est nécessaire à plusieurs étapes de la chaîne de valeur. D'abord, à l'approvisionnement où l'irrigation des cultures va détourner une partie de l'eau d'autres usages, ensuite au captage où le renouvellement des solvants demandera encore de l'eau et enfin au stockage où la proximité du carbone stocké risque d'altérer la qualité des eaux souterraines. Klapperich et al. évaluent (2014) la consommation générale d'eau d'une centrale thermique équipée d'une unité de captage et de stockage de carbone à environ 3 m³/MWh, hors exploitation agricole pour l'approvisionnement (Klapperich et al, 2014). Par exemple, pour une centrale comme celle de Drax en Grande-Bretagne, qui produit 14 TWh/an d'électricité⁸ et a un potentiel de production d'émissions négatives de 8MTCO₂/an, la consommation d'eau serait supérieure à 4,5 millions de m³/an. Ce serait équivalent à la consommation annuelle d'une ville d'environ 200 000 habitants. Pour arriver à ce chiffre, les auteurs apprécient les usages aux différentes étapes de production : la combustion, le captage, la compression, le refroidissement et l'injection. Ils suggèrent ensuite un recyclage des eaux usées ou extraites pour limiter la consommation d'eau brute.

⁸ <https://www.revolution-energetique.com/les-3-centrales-a-biomasse-les-plus-puissantes-du-monde/>

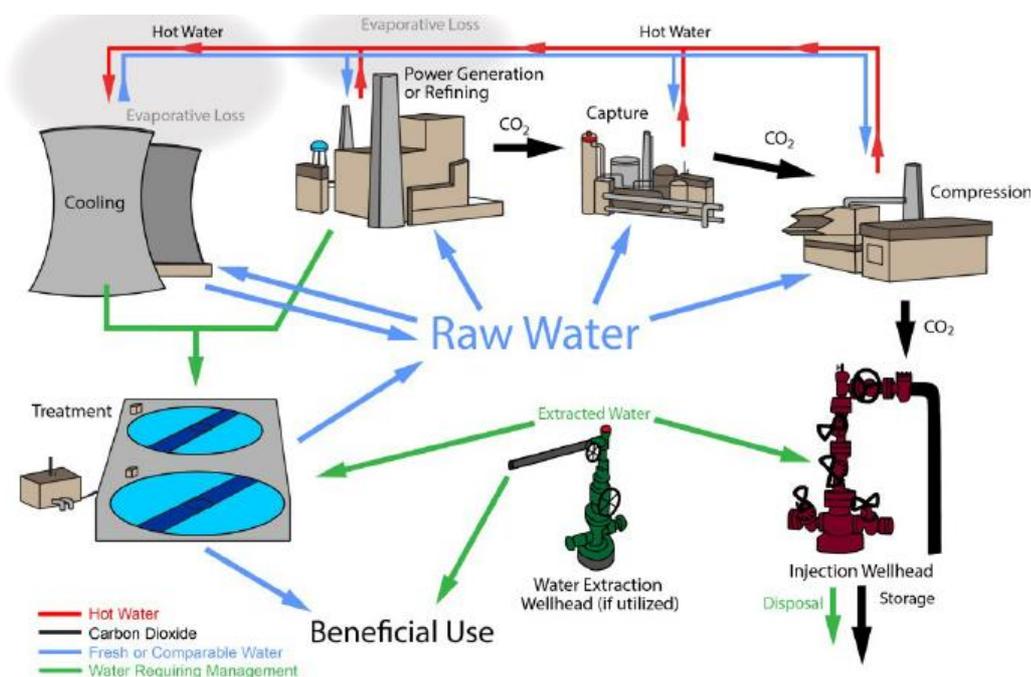


Figure 8 : Schéma des étapes où l'eau est utilisée pour le BECCS (hors exploitation agroforestière) ; Klapperich et al, 2014

L'utilisation de l'eau pour la centrale, non-délocalisable comme peut l'être l'approvisionnement en biomasse, vient plus ou moins en compétition avec les usages locaux de cette ressource. Avec les contraintes croissantes sur l'approvisionnement en eau, son usage vient soulever d'une manière plus prégnante encore que l'emprise terrestre les enjeux de justice environnementale qui se jouent à travers le déploiement du BECCS. Celui-ci va inévitablement se heurter à de nombreux conflits d'usage d'intensité variable selon le contexte régional pour la sécurité alimentaire, l'emprise foncière, le partage de l'eau et les moyens de subsistance locaux (Smith et Torn, 2013).

II.3. Le BECCS, la meilleure solution devant l'urgence ?

Toutes les problématiques précédemment mentionnées dans le déploiement du BECCS sont à mettre en perspective devant l'urgence climatique et ses conséquences. Si la hausse des températures et donc les quantités de CO₂ dans l'atmosphère ne sont pas contrôlées, les coûts et dégradations sur la biodiversité engendrée par le changement climatique pourraient être pires que ceux générés par le BECCS. Entre deux maux, il faut choisir le moindre des deux et les effets du réchauffement climatique (sécheresses, tempêtes, élévation du niveau de la mer, etc.) se faisant de plus en plus sentir, le BECCS, malgré toutes les difficultés entrevues et s'il tient ses promesses, semble être un moindre mal.

Comme nous l'avons vu plus haut, le DACCS et le BECCS sont les technologies à émissions négatives les plus prometteuses en termes de quantités de carbone stocké. Elles ont donc le plus grand potentiel de limitation du réchauffement climatique. Or le DACCS a un niveau de maturité

technologique est encore en deçà de celui du BECCS (Viebahn et al, 2019), il est donc peu convaincant de le voir prendre la place de ce dernier. De plus, son rendement énergétique est plus mauvais que celui du BECCS (Ng et al, 2020), qui produit de l'énergie en stockant du CO₂ au lieu d'en consommer. En comparaison des rendements énergétiques, le biochar pourrait être une alternative crédible, mais son rendement économique est trois fois inférieur, c'est-à-dire que son coût serait équivalent à celui du BECCS, mais son potentiel de stockage trois fois inférieur. Finalement, en comparant les technologies à émissions négatives sur les quatre critères : 1) niveau de maturité technologique ; 2) capacité de production en GtCO₂ /an; 3) Coûts en \$/tCO₂; 4) Rendement énergétique en GJ/tCO₂, le BECCS parvient à se placer comme le choix le plus avantageux.

	Alternatives	Technical Status (TRL)	Potential Capacity (GtCO ₂ -pa)	Costs Estimates (\$/tCO ₂)	Energy Requirement (GJ/tCO ₂)
Erosion augmentée	EW	1-5	1	20-40	0.9 to 12.60
Biochar	BC	4-6	0.9-3	8-300	-5.45 to -13.64
DACCS (captage étendue)	DAC - Artificial Tree	3-5	10	40-300	1.14
DACCS (tour de captage)	DAC - Soda-lime Process	4-6	10	165-600	8.86
BECCS	BECCS	4-6	2.4-10	70-250	-0.82 to -10.91
Fertilisation océanique OL		3-4	0.99	51-64	0.7-6.9
Séquestration agricole	SCS	2-7	2.3	0-100	0

Figure 9 : Comparaison de la maturité technologique, des capacités, des coûts et des rendements énergétiques des différentes technologies à émissions négatives (Ng et al, 2020)

Si le BECCS apparaît comme le meilleur choix dans les statistiques, ce n'est pas visible dans la réalité de son déploiement qui stagne. Les problématiques de coût et d'approvisionnement en ressources vu plus haut ne sont pas étrangères à la lenteur de l'exécution de son développement. Entre recensement des projets existants et futurs (Stavrakas et al, 2018) et évaluation des besoins et des possibilités de production d'émissions négatives (Fuss et Johnsson, 2021), les auteurs jugent globalement le déploiement actuel des NET très insuffisant. Ils en appellent alors à des mesures politiques fortes pour soutenir un déploiement dont la faisabilité technique fait peu de doutes (Haszeldine et al, 2018 ; Kraxner et al, 2014).

L'utilité et les avantages du BECCS dans le réchauffement climatique ne parviennent pas encore à contrebalancer les obstacles alors des chercheurs essaient de l'adapter à des échelles nationales voire

locales. Le BECCS doit alors répondre à des exigences particulières de décarbonation des pays ou même des villes. Ainsi Dittrich & Lillieroth (2019) calculent le besoin en émissions négatives de la ville de Stockholm et de là, envisagent les capacités du BECCS « municipal ». Odeh (2020) réalise le même travail pour la ville de Londres, Zhang et al. (2020) modélisent le déploiement national et l'approvisionnement national en biomasse à l'échelle du Royaume-Uni et Patrizio et al. (2019) envisagent un remplacement progressif de la production de charbon aux États-Unis par le BECCS.

La plupart d'entre eux soulignent cependant la prudence requise entre les différences d'échelles qu'implique le passage d'une expérience de laboratoire à une installation industrielle. Que ce soient sur les procédés de captage ou de combustion, les incertitudes sur une augmentation d'échelle sont encore nombreuses (Erans et al, 2022). Ainsi, bien que la majorité des auteurs cités dans cette deuxième partie n'ignoraient pas les problématiques d'acceptabilité sociale qu'impliquait le déploiement du BECCS, nous avons pu constater l'existence de nombreux autres verrous d'ordre technique et économique.

II.4 Les promoteurs et « leur » acceptabilité

Mais un des verrous qui occupe particulièrement les promoteurs est celui de l'acceptabilité sociale. Interprété exclusivement à travers l'apparition des manifestations populaires en opposition d'un projet particulier pendant la phase de construction, ce phénomène potentiellement bloquant est une difficulté nouvelle pour les porteurs du projet. Souvent considéré par ces derniers séparément de leur technologie, c'est une dimension de la société moins rationnelle et certaine que ne peut l'être le fonctionnement de la technologie ou les *business-models*. Or, en séparant technologie et société, les décisions prises avec ces interprétations entraînent des erreurs d'adéquation avec les particularités du territoire d'intégration et posent plus largement la question des rapports de pouvoirs entre les entreprises, les gouvernements nationaux et les instances plus locales.

Les luttes politiques pour le déploiement de grands projets technologiques ne sont pas un phénomène nouveau et le BECCS, qui a besoin du soutien de la puissance publique, influencée par une mauvaise acceptabilité, pour se déployer, n'y échappe pas. Les autorités nationales pour atteindre leurs objectifs de décarbonation peuvent se désintéresser des conditions locales d'intégration et ignorer le dialogue avec les communautés et représentants locaux. Les décisions prises ou perçues de cette manière sont imposées aux habitants du territoire, mais aussi aux citoyens de tout le pays dont la réaction pourra trouver sa cause non seulement dans la technologie, mais aussi dans la gouvernance de son intégration.

Le BECCS jouit déjà d'une position favorable dans le paysage technologique des solutions contre le réchauffement climatique, mais des obstacles politiques et économiques risquent d'entraver son

intégration et surtout son acceptabilité sociale. Cette notion, de plus en plus utilisée dans les médias, est régulièrement évoquée comme une explication des échecs de projets liés à la transition énergétique par les promoteurs de ces mêmes projets. Par exemple, le journal les Échos en 2022 expliquait que des mines de terres rares nécessaires à la transition ne pouvaient pas être mises en exploitation en France à cause de l'acceptabilité sociale⁹. Cette affirmation provenait des tentatives de renouveau minier avortées dans les années 2012 dont les échecs avaient été expliqués des problèmes d'acceptabilité sociale par les promoteurs (Massé, 2021). Non circonscrits à la France, l'acceptabilité sociale s'exporte comme nous explique encore les Échos la même année avec l'abandon d'un immense projet de mine de lithium en Serbie à cause de « l'opposition locale »¹⁰. Dans ces projets, l'une des causes principales problématiques d'acceptabilité provient des revendications anti-extractivisme (Phipps, 2014). Mais ce n'est pas le cas dans toutes les situations où les promoteurs dénoncent des problèmes d'acceptabilité.

L'exploitation du sous-sol n'est pas le seul secteur dans lequel le terme est utilisé et les promoteurs des projets ne sont pas non plus les seuls à l'utiliser. En 2021, un immense projet de ferme éolienne en mer doit voir le jour dans la baie de Saint-Brieuc, mais une ferme opposition des marins-pêcheurs entraîne des retards et des blocages¹¹. Les manifestations en mer sur des bateaux de pêche avec des feux de détresse attirent l'attention des médias et le comité des pêches, organe principal de représentation des marins pêcheurs, annonce alors qu'il faut « améliorer l'acceptabilité sociale » de ce projet d'éolien flottant¹². Dans ce cas, nous remarquons d'une part, que les opposants s'approprient un vocabulaire habituellement réservé aux promoteurs et d'autre part, qu'ils dénoncent des conflits d'usage d'un espace maritime (Oiry, 2015).

Ces deux exemples ne sont pas une représentation exhaustive de tous les usages de la notion, mais ils témoignent déjà de la polyvalence des phénomènes sociaux rassemblés sous le même vocable d'« acceptabilité sociale ». À force de faire référence à ces mots dans des situations très variées, le terme en est galvaudé et nous ne savons plus très bien ce qu'est l'acceptabilité ainsi que les causes de ces échecs, délais ou dégradations. Au moins deux éléments se confondent dans les usages de l'acceptabilité aujourd'hui, l'acceptabilité elle-même et les causes des problèmes rencontrés par l'intégration des projets de transition. La polysémie du terme est donc une des premières difficultés à laquelle nous nous sommes heurtés dans ce travail sur lequel nous reviendrons dans le deuxième

⁹ Consulté sur le site des Echos en 2022 : <https://www.lesechos.fr/finance-marches/marches-financiers/les-reves-dun-renouveau-minier-en-france-1411375>

¹⁰ Consulté sur le site des Echos en 2022 : <https://www.lesechos.fr/finance-marches/marches-financiers/la-serbie-entree-le-plus-grand-projet-de-mine-de-lithium-en-europe-1381018>

¹¹ Consulté sur le site du Point en 2021 : https://www.lepoint.fr/societe/en-baie-de-saint-brieuc-le-bateau-du-chantier-eolien-encerclé-par-les-pecheurs-07-05-2021-2425432_23.php

¹² Consulté sur le site de La Tribune en 2022 : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/eoliennes-en-mer-une-declaration-de-guerre-pour-les-pecheurs-de-saint-brieuc-883738.html>

chapitre. Nous retenons que l'acceptabilité est majoritairement évoquée dans les cas sus-cités lors de l'apparition d'un problème dans l'agenda d'un chantier lié à un processus d'interaction sociale de nature généralement conflictuelle.

Ainsi nous avons cherché à résoudre la tension autour du terme « acceptabilité » entre d'une part, le phénomène d'interaction sociale conflictuelle observé sur le terrain et d'autre part la notion de blocage des projets utilisée par les promoteurs. Ainsi nous questionnons le discours des porteurs de projet BECCS sur le manque d'acceptabilité qui recouvre en réalité des problématiques plus diverses en lien avec les caractéristiques des territoires. En effet, nous nous demandons quelles sont les entraves au déploiement du BECCS afin de distinguer les potentiels événements dans lesquels l'acceptabilité joue un rôle majeur de ceux qui sont causés par d'autres phénomènes. Ainsi plutôt que d'aborder le BECCS par son acceptabilité, nous l'avons abordé par les difficultés de son développement.

Enfin, nous formulons l'hypothèse que la grande visibilité des actions qui sont imputées à l'acceptabilité n'est pas proportionnelle à leur impact réel sur les développements des projets. Elles ne sont généralement que la partie émergée de l'iceberg. Elles peuvent rendre visibles des problématiques d'acceptabilité qui interviennent en amont comme par exemple, des procédures iniques, un manque d'implication des parties prenantes et une négligence des caractéristiques des territoires. Rendre visibles ses causes et trouver les déterminants de l'acceptabilité du BECCS est au cœur de notre travail de recherche. Il importait dès lors de délimiter le périmètre des causes de l'acceptabilité de celles des autres défaillances.

III. Notre approche : l'étude de la territorialisation du BECCS

En étudiant la littérature et la presse sur les sujets d'acceptabilité du BECCS, nous avons mis en lumière un récit de déploiement encore embryonnaire. Loin d'être stabilisé, le récit sur le BECCS est encore parsemé d'incertitudes et de débats d'opinions. Dans ces conditions, poser la question de l'acceptabilité sociale alors qu'aucune installation BECCS n'est encore en opération, est particulièrement difficile. En effet, le BECCS a encore de nombreux verrous à lever comme l'approbation des riverains, la viabilité de son *business model*, la promulgation d'une législation favorable, l'adhésion des associations environnementales à sa stratégie de déploiement ou l'aboutissement d'un consensus sur l'usage de la biomasse ou le stockage géologique du carbone. A nos yeux, ces réponses se trouvent dans les conditions de son intégration territoriale, c'est pourquoi nous avons ciblé des projets concrets en cours de territorialisation.

Même si les limites épistémologiques sont encore floues, les limites géographiques nous semblent plus claires. Le BECCS est une technologie de compensation du carbone et logiquement les pays intéressés sont généralement très industrialisés et ont des émissions à compenser. L'Amérique du Nord, l'Europe, l'Asie Pacifique (Japon et Chine principalement) sont les principales régions du monde à avoir des projets de BECCS en préparation, mais ceux-ci ne s'y déploient pas de la même manière. L'Europe est la seule région du monde à envisager le BECCS exclusivement comme une solution de lutte contre le réchauffement climatique, les autres régions voient également dans cette technologie d'autres débouchés comme celui d'augmenter la récupération des hydrocarbures par l'injection du CO₂ dans les gisements d'énergie fossile. C'est pourquoi nous focaliserons notre étude sur le sous-continent européen.

Au moment où nous commençons cette étude, en 2021, plusieurs pays européens envisagent de développer le CCS, mais seulement deux projets BECCS sont en développement, l'un en Angleterre et l'autre en Suède. En comparant les deux cas, nous serons en mesure de distinguer les déterminants invariants et les variables contingentes liés directement à l'acceptabilité de la technologie. Mettant ainsi en lumière les lignes de partage entre d'une part les facteurs contextuels liés au territoire et d'autre part les verrous d'ordre technique ou économique, notre travail permettra de mesurer la sensibilité de l'acceptabilité du BECCS selon son terrain d'implantation.

Pour cela, nous élaborerons un cadre de comparaison en nous appuyant sur des travaux précédents en sciences sociales. Puis nous inscrivant dans une démarche d'analyse qualitative principalement autour d'entretiens avec les acteurs concernés, nous donnerons du sens à des phénomènes historiques, sociaux et politiques complexes. Ainsi les enjeux de notre étude reposent-ils sur une analyse des politiques publiques et des discours d'acteurs engagés dans le déploiement du BECCS ; il implique un effort d'explicitation ou de montée en généralité de témoignages, d'expériences ou de pratiques.

Dans notre premier chapitre, nous préciserons à l'aide de la littérature scientifique de ces trente dernières années une définition de l'acceptabilité sociale. En effet, pouvant être facilement interprétée de multiples manières selon le contexte et l'interlocuteur, l'acceptabilité sociale est une notion difficile à circonscrire. Plusieurs a-prioris et présomptions pèsent sur elle avec l'un des plus évidents est celui du NIMBY (Not In My BackYard – *pas dans mon jardin* en français). Ce concept explique l'arrêt des projets à cause des manifestations de riverains motivés par l'égoïsme ou des peurs irrationnelles. Or la grande majorité des travaux en sciences sociales décrédibilisent cette idée en montrant d'une part que l'absence de manifestations aux abords du projet ne signifie pas automatiquement que celui-ci est accepté et d'autre part, que l'égoïsme et l'irrationalité sont très rarement des motifs de contestation.

Nous dissiperons donc ce flou autour de la notion en suivant l'évolution des travaux dans ce domaine qui s'étendent d'une cartographie des controverses à une étude approfondie des relations de pouvoir entre les promoteurs les opposants. Indépendamment de la technologie à déployer, la gouvernance à différents niveaux de décisions influence aussi la réception des projets notamment à travers les questions de justice distributive et représentative.

Sur la technologie BECCS spécifiquement, nous verrons que les enjeux de son acceptabilité s'étendent sur toute sa chaîne de valeur depuis l'exploitation de la biomasse jusqu'au stockage de carbone en passant par le captage. Les motifs de contestation, quant à eux, sont aussi divers et peuvent concerner des problématiques sur les principes que portent la technologie, des défis d'intégration locaux ou des incertitudes sur les politiques de soutien à ce type d'innovation. Les contextes nationaux et locaux particuliers d'intégration du BECCS s'avéreront déterminants dans l'émergence de ces phénomènes d'acceptabilité.

C'est pourquoi, dans un deuxième chapitre, nous construirons un cadre d'analyse du contexte territoriale en nous appuyant essentiellement sur des travaux en science politique. En prenant en compte l'environnement socio-politique élargi des projets avec des variables telles que les éléments matériels disponibles, les réseaux d'acteurs engagés, ou encore les processus de traduction internes des phénomènes globaux dans un pays, nous parviendrons à mieux distinguer les influences nationales sur l'acceptabilité. Notre cadre d'analyse basé sur les publications d'Evrard (2017) pour comparer les trajectoires de transition en Allemagne et en France tiendra encore compte du style politique du gouvernement, des imaginaires nationaux entourant l'énergie, des formes des politiques publiques en soutien au développement de l'innovation.

À partir de ce cadre, nous mènerons notre enquête à travers des revues de presse, une analyse approfondie de la littérature scientifique, un examen des archives gouvernementales et industrielles et surtout par des entretiens semi-directifs avec des experts de différents milieux tous impliqués dans le développement de la technologie BECCS. Le terrain anglais, en particulier, sera complété par une immersion de six mois à l'université de Manchester dans laquelle plusieurs professeurs, que nous avons eu le privilège de rencontrer, travaillent directement sur ces questions d'intégration territoriale du BECCS. De plus, nos deux terrains d'étude que sont l'Angleterre et la Suède s'avéreront parfaitement complémentaires tant du point de vue des observations contextuelles que des études d'acceptabilité. Ainsi notre approche comparative révélera une vision exhaustive des phénomènes d'acceptabilité pour ce type particulier de technologie.

Dans un troisième chapitre, nous décrirons en deux parties notre premier terrain d'étude qui est la centrale de Drax, au Royaume-Uni. La première, suivant une lecture chronologique, se focalisera

sur les évolutions du contexte national entourant cette centrale particulièrement remarquable dans le mix énergétique britannique de par sa taille (8 % de la production électrique du pays). Depuis sa conception en 1964 pour servir de débouché commercial à une mine de charbon découverte à quelques kilomètres jusqu'aux vicissitudes de sa conversion à la biomasse en 2022, notre étude montrera comment la vie de cette centrale témoigne presque de l'ensemble des évolutions conceptuelles et factuelles de la transition écologique du Royaume-Uni.

La seconde partie décrira plus précisément les contestations actuelles sur la centrale. Même si les critiques ne sont pas récentes puisque nous avons trouvé des documents démontrant des oppositions dès les années 1980, les motifs des protestations conservent des formes relativement similaires au cours du temps. Par exemple, le type de combustible pour l'approvisionnement a toujours été au centre de nombreuses contestations, que ce soit du charbon ou de la biomasse. Nous verrons encore comment les difficultés économiques de la centrale depuis sa privatisation jusqu'aux formes politiques de soutien financier sont aussi une problématique récurrente. D'autres phénomènes d'acceptabilité seront mis en lumière comme l'adéquation du BECCS à un projet national de décarbonation. Tous ces enjeux manifestent en réalité les multiples verrouillages dont hérite un mix énergétique très fossilisé tant matériellement que cognitivement.

Dans le quatrième chapitre, lui aussi découpé en deux parties, nous basculerons sur notre second terrain d'étude : la centrale KVV8 de Stockholm en Suède. Comme précédemment, la première partie décrira le contexte d'émergence du BECCS et le second se centrera sur l'étude des phénomènes d'acceptabilité. Construite plus tardivement que Drax, cette centrale inaugurée en 2016 a été conçue directement pour brûler de la biomasse. Elle n'a donc pas traversé toutes les épreuves de son homologue britannique. Pour décrire l'environnement socio-politique, nous préférons donc à l'approche chronologique une approche géographique en observant d'abord les éléments contextuels à l'échelle nationale puis ensuite à l'échelon local. La subsidiarité de la politique suédoise rend d'autant plus pertinente cette approche, car en matière d'énergie, les autorités locales prennent leurs décisions en autonomie, mais sous l'influence des décisions nationales. De plus, la transition suédoise commence dès les années 1970 et conserve une trajectoire stable à l'inverse du Royaume-Uni. Les changements d'une période historique à l'autre sont, par conséquent, moins saillants.

Les différences d'acceptabilité, au cœur de la seconde partie, rebondissent sur ces différences contextuelles. Sur la matérialité, par exemple, la Suède n'a pas de mine de charbon, mais de grandes forêts situées au nord du pays. Les acteurs de la bioéconomie locale sont nombreux depuis les scieries jusqu'au fabricants de papier et ainsi l'approvisionnement comme l'usage de la biomasse ne pose pas de question. Malgré cet avantage dans la mise en place de l'amont n'empêchera pas le

reste de la chaîne de valeur de rencontrer quelques complications. Sur le captage, par exemple, la centrale située au cœur de la capitale suédoise et non en rase campagne comme celle de Drax risque de se trouver face à des problématiques d'intégration de son unité de captage dans une zone très densément peuplée. D'autres enjeux sont encore à prévoir tels que risques liés à l'externalisation du stockage chez un pays tiers ou dans les contours des mesures de soutien au développement du BECCS.

Le cinquième chapitre, ensuite, positionnera face à face les six facteurs contextuels de chacun des deux cas et démontrera comment ceux-ci tracent une dépendance au sentier particulière dans chaque pays. Les décisions concernant le déploiement du BECCS peinent à s'extraire de ces conditions qui touchent à la fois le profil des acteurs impliqués, l'organisation politique et législative, les habitudes de travail, la disponibilité des ressources nationales et les écosystèmes industriels. Avec les exigences de la transition écologique et notamment l'augmentation des récentes pressions réglementaires, des inflexions se produisent et modifient ces sentiers de dépendances, mais leurs structures demeurent déterminantes dans l'élaboration des projets BECCS.

En outre, la comparaison des phénomènes d'acceptabilité permettra de distinguer les éléments propres à chaque contexte de ceux qui sont communs, tout en les positionnant selon l'objet et les motifs de contestations sur la chaîne de valeur de la technologie. Nous remarquerons ainsi quels facteurs contextuels forment quel type d'acceptabilité. Par exemple, les problématiques de Drax sont plus concentrées sur la partie amont, car le contexte britannique privilégie plus particulièrement la partie aval alors que le contraire se produit en Suède. En retrouvant des enjeux communs, nous inférerons l'acceptabilité propre à la technologie BECCS de celle qui dépend des environnements nationaux d'intégration de cette technologie.

Enfin dans un ultime chapitre, nous conclurons sur les possibilités réelles de déploiement du BECCS. Au regard des contraintes de développement contextuel que nous aurons présenté dans le chapitre précédent, nous évaluerons les conditions dans lesquelles le BECCS serait susceptible d'émerger avec succès. Trois dispositions nous semblent primordiales à retenir. Tout d'abord, l'échelle de développement de cette technologie est prépondérante dans sa faisabilité et son acceptabilité. Ensuite, la bonne répartition des compétences et disponibilité des ressources sur la chaîne de valeur sont encore essentielles. Sur ce point, une collaboration entre les pays est plus profitable qu'une logique individuelle de course à la décarbonation. Enfin, l'action en aval des émissions de carbone dont le BECCS est l'un des avatars apparaît de plus en plus comme questionnable, d'autant qu'avec une telle technologie un effet rebond serait probablement créateur de plus d'émissions positives que négatives. Le développement de cette technologie pourrait être

rédhibitoire si certaines exigences strictes tant sur les raisons de son déploiement que sur ses modalités locales d'intégration ne sont pas respectées.

Ce travail trouve ses racines dans les interrogations des industriels et des chercheurs sur le BECCS et en particulier sur son acceptabilité sociale. Pour répondre à ces questions, l'Institut Français du Pétrole et des Énergies Nouvelles (IFPEN) a monté une chaire de recherche nommée CarMa (acronyme de Carbon Management – la gestion du carbone). Plusieurs dimensions de la technologie sont étudiées au sein de cette chaire dont la dimension sociologique et particulièrement l'acceptabilité sociale qui est une préoccupation majeure. Si l'acceptabilité n'est pas garantie ou acquise alors les projets sont virtuellement irréalisables. Dès lors, ce n'est plus la faisabilité ou l'optimisation de la technique qui est le défi principal à relever pour les ingénieurs en charge, mais l'obtention de cette acceptabilité. En plus des incertitudes économiques, cette nouvelle variable sociale vient bouleverser les projections nationales de déploiement du BECCS. C'est comme si la crainte avait changé de camp. Le manque d'acceptabilité sociale envisagée initialement comme une réaction de peur irrationnelle des populations à l'arrivée d'une nouvelle technologie dans leur voisinage se matérialise aujourd'hui comme la crainte des promoteurs de voir leur projet annulé par des causes sociales imprévisibles.

Très souvent, la définition que les promoteurs donnent à l'acceptabilité d'une technologie est issue d'une dialectique entre d'une part, une dimension sociale connotée négativement et d'autre part, une dimension technique dont le rôle est positif. La dimension sociale est qualifiée d'ignorante, d'irrationnelle ou d'égoïste alors qu'à l'inverse la technique obtient les attributs de cohérence, de rationalité et d'utilité bénéfique. Le concept de NIMBY (Not In My BackYard) que nous verrons plus en détail dans les paragraphes suivants est l'émanation directe de cette définition. Or loin d'être une véritable définition scientifique, ce discours agit surtout comme une stratégie de décrédibilisation des oppositions au déploiement d'une technologie.

Nous avons vu dans l'introduction au §II.4 que cette description était largement insuffisante pour expliquer les phénomènes d'interaction sociale impactant les projets. Déjà dans ce questionnement très empirique commence un point de vue un problème plus théorique : **de quoi l'acceptabilité est-elle le nom ?** La volte-face de la notion, de la crainte des populations à celle des promoteurs, montre déjà une confusion sémantique, qui avant de faire obstacle au projet, fait d'abord obstacle à la compréhension des phénomènes. Viennent encore se mêler des stratégies de lutte de pouvoirs et des tentatives de décrédibilisation des oppositions dans l'usage qui est fait de la notion. Il en résulte que ce terme est devenu dans les discussions une notion valise qui renferme une multitude de significations bien différentes les unes des autres.

Pour le BECCS en particulier, les grands médias font déjà résonner les échos des controverses qu'il suscite¹³. Nous parlons d'échos, car la technologie apparaît encore timidement dans les débats publics et politiques, les controverses actuelles sont encore principalement cantonnées à des cercles d'experts industriels ou académiques. Pour y voir plus clair, nous avons voulu savoir ce que la littérature scientifique avait à nous apprendre d'abord, sur l'acceptabilité sociale en générale, sur la manière dont nous pourrions y recourir dans notre étude et enfin sur son application au BECCS.

L'acceptabilité sociale du BECCS, comme la technologie dont elle est l'objet, sont des sujets de recherche relativement nouveaux qui émergent véritablement dans les publications scientifiques il y a une dizaine d'années. L'acceptabilité sociale est de manière générale un sujet plus mature pour les sciences sociales, puisque les recherches commencent dans les années 1990 (Batel, 2020). L'application des études de l'acceptabilité au BECCS est, par conséquent, une approche novatrice.

¹³ Consulté sur le site du Monde en 2022 :https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/10/31/climat-le-mirage-des-emissions-negatives_5376851_1652612.html

Premier Chapitre

État de l'Art

L'acceptabilité dans la littérature

Introduction

Organisée en trois grandes étapes, notre recherche bibliographique, qui prenait comme point de départ l'inquiétude des promoteurs vis-à-vis des oppositions socio-politiques, a finalement abouti à une réflexion sur les déterminants contextuels qui rendent plus ou moins acceptable l'arrivée d'une innovation dans une région particulière. D'abord, les travaux théoriques sur l'acceptabilité sociale sont venus confirmer notre constat sur l'inadéquation de la définition initiale des promoteurs et sur la multiplicité des réalités sociales qu'abritait ce mot d'« acceptabilité ». Ensuite, notre protocadragage organise ces différentes significations de l'acceptabilité selon le sujet d'émergence des controverses. Il les polarise autour de deux grands pôles, le premier correspondant aux promesses et principes de la technologie et le second s'appuyant sur l'intégration locale et ses conséquences. Enfin, notre revue des travaux récents sur les dimensions socio-politiques du BECCS et de sa technologie-mère le CCS sera le premier terrain d'application de notre proto-cadre. Elle montrera que la majorité des recherches sur l'acceptabilité du BECCS porte soit sur l'influence des opinions comme par exemple la tonalité des récits dans la presse, soit sur des extrapolations des controverses futures à partir des controverses existantes sur des technologies de bioénergie et de stockage géologique.

De toutes ces lectures, nous retiendrons surtout que le contexte sociotechnique d'une innovation est reconnu comme l'un des déterminants principaux de l'acceptabilité. En effet, pour la majorité des chercheurs, l'approbation des publics dépend moins de la technologie elle-même que de son environnement politique, de son mode de gouvernance et de sa légitimité régionale. Ainsi nous construirons dans le prochain chapitre un cadre d'analyse à même de mesurer les facteurs d'influence contextuels confirmant le positionnement de notre contribution scientifique désormais orientée sur une étude de sensibilité de l'acceptabilité au territoire d'intégration politique et sociotechnique local.

I. Les fondamentaux de l'acceptabilité sociale

I.1. Revue bibliométrique

À cause de son impact sur la vie économique, l'acceptabilité sociale est un sujet qui occupe les chercheurs depuis plusieurs décennies. Les publications sont nombreuses et avant de plonger dans celles-ci, il nous a paru primordial de les catégoriser grâce à une revue bibliométrique. Comme pour la partie précédente, nous avons choisi l'agrégateur Scopus en entrant les expressions « social acceptance » ou « acceptabilité sociale » dans le moteur de recherche. 8557 documents publiés entre 1990 et 2021 sont alors apparus.

L'intérêt académique pour cette notion progresse lentement jusqu'en 2009, année à partir de laquelle le nombre de publications augmente beaucoup plus rapidement. Une des raisons pouvait expliquer cette hausse d'intérêt est l'évolution progressive de la Corporate Social Responsibility (ou Responsabilité Sociale des entreprises en français) vers un enjeu stratégique du monde économique (Moura-Leite et Padgett, 2011).

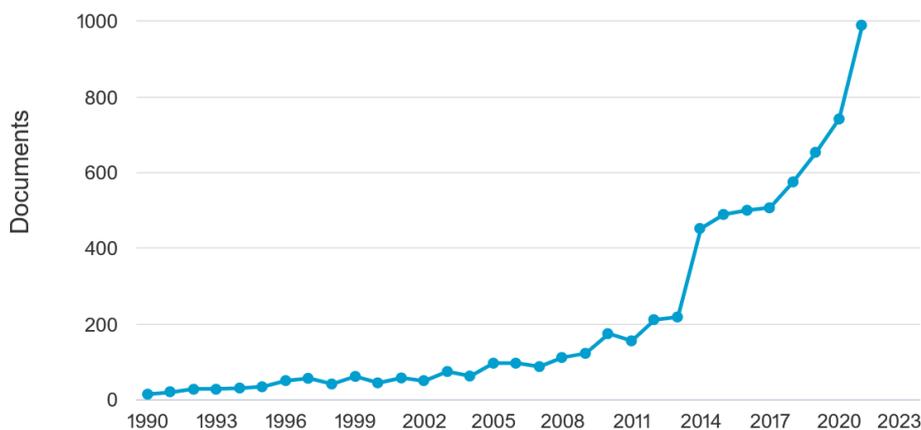


Figure 10 : Évolution du nombre de publications par année sur l'acceptabilité sociale, Scopus 2023

En regardant en détail dans quelles disciplines ces recherches sont menées, nous trouvons d'abord des disciplines médicales ou affiliées comme la psychologie ou la pharmaceutique. Sans surprise, les sciences sociales représentent la seconde référence la plus utilisée. Les sciences dites « dures » (l'énergie, l'ingénierie ou les sciences environnementales) sont bien moins citées que les deux catégories précédentes. Cette donnée montre que le BECCS et l'acceptabilité sociale sont deux objets d'étude qui se croisent relativement peu dans la littérature.

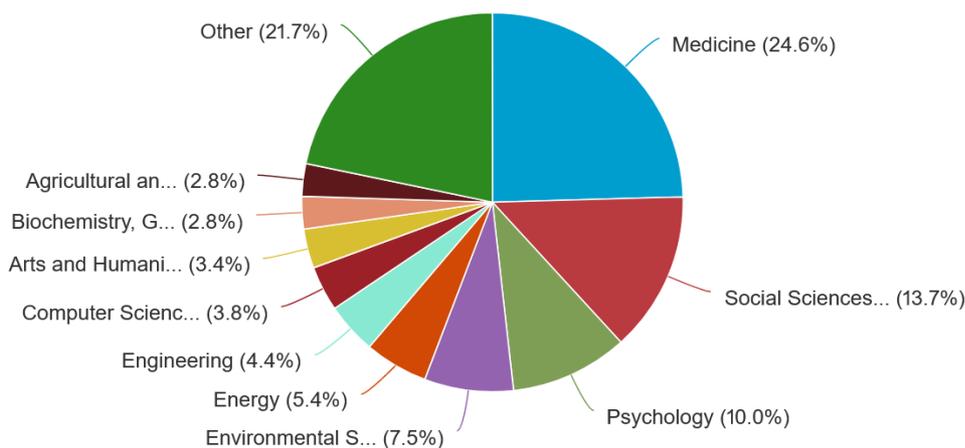


Figure 11 : Représentation des publications sur l'acceptabilité sociale par discipline (Scopus 2023)

Réalisant une étude sur l'acceptabilité d'une technologie particulière, nous avons cherché à enrichir celle-ci grâce à la transposition de recherches et de méthodes sur l'acceptabilité menées dans d'autres secteurs et sur d'autres technologies que le BECCS. Pour ce faire, nous sommes revenus

aux fondamentaux théoriques de la notion d'acceptabilité sociale. Le besoin de montée en généralité et de définir le plus correctement possible la notion s'est avéré une étape essentielle de notre chemin de recherche.

Dans cet effort de définition, Batel (2020) revient sur les recherches sur l'acceptabilité en sciences sociales depuis vingt ans et identifie trois étapes de recherches successives. Ces étapes se caractérisent par des approches et des problématiques différentes qui traduisent aussi un déplacement du point de vue sur la notion. De par les modalités de notre travail, nous avons jugé pertinent d'organiser notre exploration de l'acceptabilité en suivant la même translation de perspective.

Le premier point d'observation est très similaire à celui des promoteurs. C'est une approche normative qui est de mise dans les cercles académiques jusqu'aux années 2000 avec un examen des problèmes exclusivement tourné vers les contestations de riverains. L'acceptabilité n'a alors d'effet que géographiquement proche du projet et elle est portée par des oppositions selon les principes du NIMBY. Par la suite, après les années 2000, le deuxième point de vue s'éloigne de celui des promoteurs pour critiquer les projets en élargissant les hypothèses de l'acceptabilité à d'autres causes que le dérangement des riverains. Les modalités des projets, les principes de la technologie et des failles de justice procédurale, distributive et environnementale deviennent de nouvelles lignes d'enquête. Enfin, après les années 2010, la troisième approche devient plus déconstructiviste. Les idéologies politiques et les rapports de force dans le déploiement des transitions sont maintenant scrutés et analysés. Les stratégies de lutte de pouvoirs pour l'implantation et même la définition d'une technologie sont mises au jour.

1.2. Le NIMBY ou la préhistoire de l'acceptabilité

Historiquement, la première notion d'acceptabilité sociale dérive du concept de NIMBY (Burningham, 2000). Le terme « NIMBY » est l'acronyme de « Not In My Back Yard », ce qui se traduit littéralement par « Pas dans mon arrière-cour ». Il représente une posture où des individus, des groupes ou des communautés s'opposent au déploiement de projets, infrastructures ou installations publics dans leur voisinage immédiat, même s'ils reconnaissent l'intérêt de ces initiatives pour la société dans son ensemble (Gibson, 2005). C'est pourquoi cette notion qui sous-entend une réaction qualifiée d'égoïste et irrationnelle est souvent utilisée par les porteurs de projets pour disqualifier les oppositions.

L'ignorance des implications « bénéfiques » plus générales de la technologie est pointée du doigt dans ces premiers travaux qui recommandent des efforts d'information et d'éducation du public. La solution à ce type d'acceptabilité sociale passe par la formation des citoyens concernés. Une fois

formés, ceux-ci devraient adhérer naturellement au projet puisque le postulat des promoteurs est que leur technologie est avantageuse pour la société, même si elle peut avoir quelques inconvénients mineurs complètement maîtrisables. Or la réalité de la nature des oppositions ne témoigne pas d'un tel succès de l'éducation. C'est même le contraire. Plus les publics ont connaissance de l'intégralité des enjeux, plus leur scepticisme vis-à-vis de la technologie s'accroît (Michaud et al.2008).

Par conséquent, dans le contexte des sciences sociales, le concept de NIMBY est dépassé pour explorer plus largement les mécanismes sociaux, économiques et politiques entourant des conflits liés à l'aménagement du territoire. Certaines recherches s'extraient de la notion par un angle plus psychologique avec notamment la confiance accordée aux promoteurs, la perception des bénéfices espérés ou les connaissances individuelles. D'autres travaux, plus prometteurs, se penchent sur l'analyse des motifs sous-tendant cette opposition, les stratégies de mobilisation et de communication employées par les opposants, les facteurs socio-économiques influençant leur position, ainsi que les répercussions plus vastes de ces contentieux sur la gouvernance locale et les prises de décisions.

Ce concept aujourd'hui largement remis en question par les chercheurs est encore amplement utilisé par les cercles industriels. Représentant un prisme particulier de lecture d'une réalité sociale, le NIMBY ne décrit pas vraiment l'acceptabilité sociale. Il ne représente qu'une infirme partie de ces phénomènes sociaux qui sont sous ce nom et il n'est pas présent dans tous les cas. Il est possible qu'une des causes de mobilisations des riverains soit l'arrivée d'une usine bruyante, polluante et malodorante dans leur voisinage, mais si cette cause est réelle, elle n'est évidemment pas proportionnée à l'utilisation autant en fréquence, qu'en importance du concept de NIMBY (Mancini et Raggi, 2022). C'est une des raisons les moins fréquemment évoquées par les opposants et celle-ci ne devrait logiquement apparaître qu'à la toute fin du déploiement des projets, quand le chantier peut déjà faire sentir ses nuisances. Typiquement, nous retrouvons ce type de problématique avec les odeurs des bio-méthaniseurs (Eyl-Mazzega et al.2019). Les projets étant quasiment achevés, le NIMBY ne peut logiquement pas jouer le rôle d'obstacle à la territorialisation que les promoteurs lui prêtent.

Il est alors plus juste de le considérer comme un problème de voisinage, c'est-à-dire lorsque la technologie est déjà implantée, que comme un problème d'acceptabilité, c'est-à-dire en amont ou en cours de territorialisation. Néanmoins, nous nous attendons à ce que ce concept apparaisse lors de nos enquêtes de terrain sous la forme d'un motif d'action pour certains acteurs, notamment les acteurs industriels. Il faut donc distinguer le NIMBY qui relève de la réalité sociale dont nous avons déjà parlé et celui qui relève du discours. Ce dernier peut avoir plusieurs effets comme décrédibiliser les oppositions, motiver des actions de communication auprès des citoyens concernés, justifier la

mise en place de compensation financière, etc. Ainsi bien que la réalité du NIMBY soit extérieure à l'acceptabilité, son intégration dans les argumentaires des promoteurs participe bien au déploiement de la technologie et influence son acceptabilité.

Une des contributions de l'effet du discours du NIMBY sur les projets se retrouve dans le concept de « la désinhibition moderne ». Cette notion introduite par Fressoz (2013) se fonde sur la sociologie du risque de Beck (1986) et sur le concept foucauldien de « biopouvoir » de (Genel, 2004). L'historien décrit la désinhibition moderne comme l'ensemble « des dispositifs rendant possible, acceptable et même désirable la transformation technique des corps, des environnements, des modes de production et des formes de vie. Pour qu'une technique de quelque importance s'impose, il faut en effet circonvenir des réticences morales, des oppositions sociales, des intérêts froissés, des anticipations suspicieuses et des critiques portant sur ses conséquences réelles ». Cet ensemble de pratiques (régulations, consultations, normes de sécurité, expertises, seuils et procédures d'autorisation) établit un cadre de connaissances et de normalisation du danger technologique. Pour les promoteurs qui considèrent la population comme manquant d'éducation et réagissant irrationnellement, la désinhibition offre un moyen légal d'instaurer artificiellement un rapport de confiance vis-à-vis de la technologie. Leur postulat est que si les citoyens se méfient de la technologie, ils se méfient toujours moins de la loi. Ces procédures qui ont généralement lieu bien en amont de l'intégration territoriale sont censées prévenir l'apparition du NIMBY, mais dans la réalité, nous constatons qu'elles n'ont que peu d'effets sur les mobilisations. La désinhibition illustre donc les effets du discours du NIMBY sur le cadrage légal de la technologie pendant le déploiement, mais montre encore que les causes de l'acceptabilité se trouvent ailleurs que dans les nuisances de voisinage.

Les arènes de cadrage et de normalisation, dans lesquelles la désinhibition est construite, où s'affrontent différentes valeurs et visions de la société pour la définition de la technologie sont plus prometteuses pour nos recherches sur les sources de l'acceptabilité. Les conflits de voisinage et d'usage de l'espace sont mêlés avec des considérations écologiques ou démocratiques plus larges. Les riverains qui se mobilisent le font généralement par la création d'une association environnementale qui œuvre en réseau avec d'autres associations nationales ou mondiales défendant des causes semblables, qui évidemment ne concernent pas exclusivement les nuisances du voisinage.

Les chercheurs trouvent plus de causes sociales et collectives pour expliquer ces mobilisations que des causes individuelles. Lake (1996) propose, par exemple, d'observer le NIMBY sous le regard de l'équité environnementale. La distribution des « maux » environnementaux vient souvent défier l'autonomie locale. Le NIMBY, loin d'être individuel, serait alors l'expression d'une tension entre

les communautés locales et les entreprises-porteuses des projets, trouvant sa source dans une mauvaise application des justices procédurale et distributive dont nous verrons les principes plus bas. Freudenberg & Steinsapir (1991) démontrent que l'activisme environnemental souvent labellisé de NIMBY, par les promoteurs, est l'œuvre de communautés composées de profils très variés qui se mobilisent pour promouvoir la santé publique ou la protection de l'environnement loin de chez eux. Si elles en ont la possibilité, elles assistent les groupes de riverains dans une démarche de NIABY (Not In Anyone BackYard) rejetant les nuisances de la technologie non seulement localement, mais aussi globalement. Bauer et al. (2022) vont même jusqu'à distinguer l'acceptabilité locale, qui concerne les riverains de l'acceptabilité générale, qui concerne tous les citoyens. L'acceptabilité ne se limite donc pas au cadre local contrairement à ce que décrit le NIMBY. Ses principaux déterminants se trouvent même bien en amont de ce type de problématique. Les relations et rapports de force entre les citoyens et les promoteurs, que l'on retrouve dans l'usage du concept de NIMBY, sont une piste plus intéressante sur laquelle nous allons nous focaliser.

1.3. L'acceptabilité sociale au cœur des stratégies et des relations d'entreprises

Depuis la fin des années 1990, la question de la compréhension entre les communautés locales et les entreprises est devenue une considération stratégique pour ces dernières (Vredenburg et Westley, 1997). La multiplication des controverses, surtout entre les entreprises d'exploitation des ressources et les riverains ou les militants écologistes, a été suivie d'un intérêt croissant des acteurs académiques sur la question de l'acceptabilité sociale. Les premières tentatives de définition (Brunson et al., 1996 ; Voss et al., 2008) n'ont pas fait l'unanimité. Malgré cela, il est intéressant de relever que le périmètre des recherches s'est déplacé de considérations sur les communautés locales et leurs motivations à des réflexions sur les relations entre ces groupes et les compagnies privées.

Baba et Raufflet (2018) identifient deux courants théoriques majeurs pour décrire l'acceptabilité sociale comme une relation entre citoyens et entrepreneurs. Le premier l'envisage comme une extension des recherches sur la responsabilité sociale des entreprises et donc comme un résultat immédiat des efforts de l'entreprise (Raufflet et al, 2014 ; Kraisornsuthasinee et Swierczek, 2009). L'autre se rapproche de la théorie des parties prenantes et conçoit l'acceptabilité comme un contrat social qui lie l'entreprise à toutes les parties concernées par le développement du projet.

Dans les deux cas, l'objectif est d'établir une bonne relation entre les parties, c'est-à-dire une relation qui se fonde sur une confiance mutuelle. Bâtir un tel type de relation exige que toutes les parties soient traitées avec justice. Si un partenaire n'est pas juste avec l'autre alors la confiance s'affaiblit et le projet est remis en question. Bourdin et al. (2020) démontrent, par exemple, que

l'acceptation des méthaniseurs est étroitement liée à la perception de justice dans les échanges entre membres. Ils vont même plus loin en affirmant que la justice est une condition nécessaire à la légitimité du déploiement d'une technologie. Deux théories de la justice permettent de remplir cette condition : celle de la justice distributive et celle de la justice procédurale.

La justice distributive dont la source se trouve dans la théorie de l'équité d'Adams (1965) explique les raisons qui font que la distribution des résultats issus de la production d'une ressource spécifique est perçue par les individus comme équitable ou non. Le degré d'équité perçu influe sur un grand nombre de variables, notamment l'approbation des résultats et la légitimité du processus de production (Forsé et Parodi, 2006).

La justice procédurale, quant à elle, se concentre plutôt sur la façon dont les caractéristiques des procédures influencent la perception de la justice et le comportement des autorités envers les citoyens. Par exemple, la possibilité qu'ont les citoyens de modifier les paramètres du projet pour répondre à leurs attentes est pertinente dans le cadre d'une évaluation de la justice procédurale. Or le public est rarement engagé dans les prises de décisions des promoteurs du projet (Frimousse et al, 2008).

Pour Bourdin et al. (2020), la légitimation – et donc le degré de justice – dans le développement de la filière de bioénergie est essentielle pour s'assurer l'acceptation des populations. Que ce soit par l'intermédiaire d'une juste distribution des bénéfices ou des avantages de la technologie ou par celui d'une participation active des citoyens dans le processus d'implantation ou bien encore par un mélange des deux, une réflexion sur un déploiement juste est nécessaire.

Ces deux types de justice doivent s'appliquer non seulement entre les parties prenantes à l'intérieur du projet, celles qui participent activement à la construction, mais aussi avec les parties à l'extérieur, qui sont souvent oubliées dans la distribution des bénéfices ou les prises de décisions. Ces parties externes peuvent être nommées, du point de vue des promoteurs, les publics.

Cette notion de *public* est bien connue et bien définie par les sciences sociales (Lewis et al, 2023). Malgré cela, les acteurs industriels qui cherchent à convaincre un groupe d'acteurs externes confondent couramment cette notion avec celle de *population*. Les sociologues ont défini les *populations* comme l'ensemble des habitants d'un territoire ayant des caractéristiques communes. Ils ajoutent *le public* comme une notion complémentaire plus proche de nos besoins définitionnels. Le *public* est un groupe social, qui ne fait pas nécessairement partie d'une même population, mais qui se construit et s'organise autour d'un ou de plusieurs problèmes communs. La nature des publics varie selon les projets, les lieux, les milieux sociaux représentés et le type de réticences qu'ils

manifestent, depuis la simple formulation d'incertitudes jusqu'au refus net devant la proposition du projet.

Il est important d'approfondir cette notion du *public*, dont la méconnaissance est la cause d'une relation déséquilibrée entre l'entreprise et les publics. Au-delà d'une analyse du travail des relations publiques d'une compagnie privée, Bruning et Ledingham (1999) démontrent que les relations sont tridimensionnelles : professionnelle, personnelle et communautaire. Au cœur de ce croisement se trouvent les experts de la compagnie qui ont pour mission d'expliquer et de rassurer professionnellement les membres des communautés plus ou moins réticentes au projet. Connaître le rôle et les attributs du public est alors essentiel pour trouver la juste position à adopter. Dans une attitude technocratique, le public est souvent l'opposé de l'expert, il est ignorant, émotionnel et incapable de prendre une décision. Nous retrouvons ici les mêmes attributs que ceux du riverain NIMBY, prouvant s'il est encore nécessaire que dans ces discours de l'acceptabilité, certains arguments décrivent faussement une réalité pour mieux établir un rapport de pouvoir. Par conséquent, cette vision du rapport expert/public ne correspondant à aucune autre réalité que celle d'un rapport de force a longtemps été débattue.

Au cours d'un débat radiophonique très suivi, Dewey (1927) s'opposera à Lippman (1922) à propos de cet arrangement d'expert que dernier nomme *l'insider* des affaires face au public qu'il reconnaît comme *l'outsider*. Leurs arguments encore pertinents au XXI^e siècle gagneront, toutefois, à être enrichis à l'époque de l'Internet et de la diffusion massive de connaissance par d'autres théories. Lippman postule que le public n'est pas en mesure de s'approprier les tenants et aboutissants des décisions afférentes aux grands projets en raison de limites de temps, de connaissance et d'intérêt. Il ne peut que choisir des experts convaincants et suivre leurs directions. Alors que pour Dewey, le public est capable d'assimiler les intérêts d'un projet et d'être pertinent sur son déroulement, s'il se sent concerné. Le déploiement s'engage alors comme une expérimentation dans laquelle le public prend activement part aux efforts définitionnels en devenant une instance intermédiaire entre les promoteurs du projet et la société.

Les exemples de développement de projets CCS à Ketzin, à Beeskow ou à Barendrecht que nous aurons l'occasion d'approfondir plus loin montrent qu'en réalité, le public intervient parfois avec efficacité. Il détient, par conséquent, une part du pouvoir, qui était réservée au porteur de projet et de son expert, car il est capable d'orienter et d'infléchir certaines décisions. Nous retenons de ces lectures que l'acceptabilité dépend aussi d'une relation entre l'entreprise, incarnée dans la figure de l'expert, et les publics. Elle pourrait être, au moins partiellement, le résultat d'une tension entre deux pôles, un tenu par l'entreprise et l'autre par les publics. Approfondissons encore la description de

cette tension, qui est parfois décrite par les sciences sociales comme un rapport de force entre l'expert et le public, qui loin d'être figé est en constante évolution.

Anderson et Chiavari (2009) ont, par exemple, montré que dans les années 2000, plusieurs ONGs parvenaient à mobiliser des expertises juridiques ou scientifiques pour modifier, retarder ou bloquer le travail législatif sur le développement du CCS auprès des gouvernements. Certaines se positionnaient sur des détails pratiques tels que les emplacements, les échelles de déploiement, ou le choix du procédé de production. Potentiellement modifiables, ces paramètres sont souvent bien plus critiqués que la technologie elle-même (Devine-Wright, 2015 ; Bourdin et al., 2019). D'autres organisations jugent le BECCS, non sur des critères techniques, mais sur une vision de la société que la technologie permet de prolonger. Des valeurs politiques qui dessinent un futur sont ici en jeu (Haikola, 2019).

I.4. L'acceptabilité sociale d'un projet technique et surtout de société

Comme nous l'avons entrevu à plusieurs reprises, un des questionnements récurrents qui suscite des problématiques d'acceptabilité se trouve dans la lutte entre des valeurs différentes, cristallisée par les principes de la technologie. Cette dimension très politique des conflits sociaux a été théorisée par Thévenot et Boltanski (1991) dans *La justification : les économies de la grandeur* sont décrites comme entre deux ou plusieurs « cités ». Les « cités », au nombre de six dans l'ouvrage, sont des modèles d'évaluation des décisions homogènes structurés autour d'un rapport de grandeur guidé par un principe supérieur commun.

La cité de l'*inspiration*, modélisée à partir de *La Cité de Dieu* (saint Augustin), a l'inspiration pour principe supérieur commun, et son rapport de grandeur est la valeur universelle de la *singularité*. La cité *domestique*, modélisée à partir de *La Politique* (Bossuet), a la génération, la hiérarchie et la tradition pour principes supérieurs communs. Les rapports de grandeur qui l'organisent sont le *respect* et la *responsabilité*. La cité de l'*opinion*, modélisée à partir du *Léviathan* (Hobbes), dont le principe supérieur commun est l'opinion des autres, le grand public. Le rapport de grandeur qui l'organise est la *reconnaissance*. La cité *civique*, modélisée à partir *Du contrat social* (Rousseau), dont le principe supérieur commun est le collectif, le tous et la volonté générale. Le rapport de grandeur qui l'organise est le rapport de *délégation*. La cité *marchande*, modélisée à partir de *The Wealth of Nations* (Smith), dont le principe supérieur commun est la rivalité et la compétition. Le rapport de grandeur qui l'organise est la *possession*. La cité *industrielle*, modélisée à partir *Du système industriel* (Saint-Simon), dont le principe supérieur commun est la performance, l'à-venir. Le rapport de grandeur qui l'organise est la *maîtrise*. Les valeurs de protection de la biodiversité, de sauvegarde de la planète et d'économie des ressources ne sont pas pleinement saisies par ce modèle.

Pour les prendre en compte dans les projets de bioénergie, Rougemont (2017) hésite entre la création d'une septième cité — la cité *verte* — ou « l'écologisation » des cités existantes. Quoi qu'il en soit, il est certain que les opposants et les promoteurs n'utilisent pas les mêmes classes d'arguments pour juger les projets, car leurs valeurs de référence ne sont pas identiques.

Dans ce cadre, l'acceptabilité sociale n'est plus une question de risque, de procédure ou de dérangement, c'est une bataille politique comme peut l'être une campagne électorale, par exemple. Nous constatons alors une élévation de notre niveau d'analyse. En s'extrayant du niveau local, le lieu d'implantation du projet, l'acceptabilité monte au niveau politique. Il est alors nécessaire d'élargir l'échelle pour prendre en compte cette nouvelle dimension de l'acceptabilité. C'est ce que font Fournis et Fortin (2015) en décrivant les dynamiques d'intégration des technologies sur trois échelles successives. D'abord, le *microsocial* qui est le plus proche physiquement du projet s'adresse plus particulièrement aux problématiques riveraines. Ensuite vient le *mésopolitique*, le niveau des arrangements institutionnels et des régulations nationales. Enfin, le niveau *macroéconomique* correspond aux déterminants mondiaux tels que la compétition économique ou l'urgence climatique. Leur « *définition territoriale de l'acceptabilité sociale est entendue comme un processus d'évaluation politique d'un projet sociotechnique mettant en interaction une pluralité d'acteurs impliqués à diverses échelles et à partir duquel se construisent progressivement des arrangements et des règles institutionnelles reconnues légitimes, car cohérentes avec la vision du territoire et le modèle de développement privilégiés par les acteurs concernés* ». Le contenu de ces 3 niveaux semble encore imprécis, mais cette échelle a le mérite d'attribuer à l'acceptabilité une dimension politique. Elle a maintenant une place dans les débats d'orientations des évolutions de la société.

Rejoignant le diagnostic de son rôle politique, Simard (2021) affirme que l'acceptabilité sociale est une nouvelle norme de l'action publique. Faisant le lien entre la démocratie représentative et la démocratie participative, l'acceptabilité est un moyen pour la société civile de faire entendre son avis sur des cas particuliers par-delà le mandat confié à ses élus. Après avoir défini les problématiques d'acceptabilité comme le résultat d'un trouble local ou d'une relation antagoniste, nous voyons encore que celle-ci peut prendre la forme d'une dissension politique.

Cette dimension particulière est négligée par les promoteurs, car son effet sur les projets donne l'impression d'être lointain et abstrait. Mais il n'en est rien, car un projet n'est pas une île isolée des perturbations extérieures (Engwall, 2003). Quels que soient sa forme et son lieu d'implantation, il s'intègre dans un contexte temporel et politique spécifique. Par exemple, une région fortement marquée par l'exploitation minière ne suscitera pas la même réaction qu'une autre encore vierge de toute industrie à la réception d'un nouveau projet de mine. De nombreux facteurs culturels, mais

aussi politiques interviennent pour décrire cette réaction, telle que les expériences du passé, les actions publiques entreprises avant le projet ou encore la vision du futur. Par conséquent, les dynamiques du projet orientent et sont orientées par la représentation d'un territoire et plus largement d'une société.

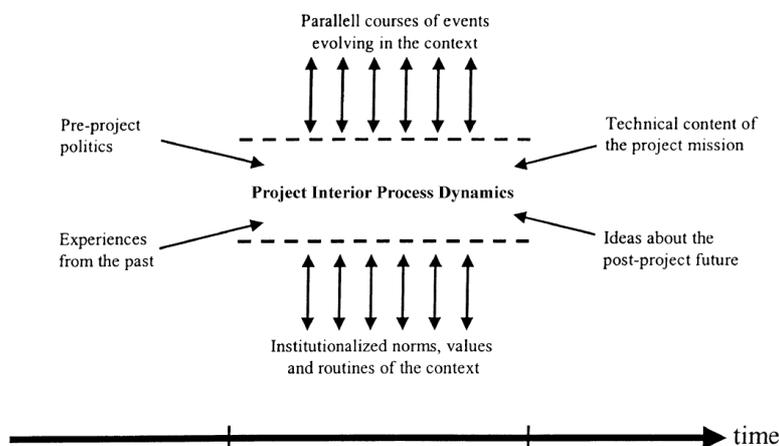


Figure 12 : Influences du passé, du présent, du futur sur les dynamiques d'un projet (Engwall, 2003)

L'acceptabilité d'un projet, d'après nos lectures, recouvre plusieurs réalités qui sont à distinguer selon les acteurs et le mode d'existence de celle-ci (enjeu, processus, résultat, etc.). Elle est la manifestation politique d'une lutte pour orienter des choix de société. Elle est aussi la réaction adverse d'un public qui se sent menacé par les maux produits par la technologie, qu'ils soient locaux ou globaux. Elle est encore une forme de relation entre les promoteurs et les publics qui sont géographiquement proches : les riverains, ou éloignés : les citoyens. Ces deux publics ne sont pas exclusifs l'un de l'autre, un riverain étant aussi un citoyen. Toutefois, pour l'étude nous les distinguons, car les racines de l'acceptabilité changent selon le type de public, le premier sera très préoccupé par la distribution des biens et des maux liés à l'installation industrielle alors que le second sera concerné par le choix politique qui porte la technologie.

Gunzburger (2019) souligne de la même manière dans un ouvrage collectif à propos de nouveaux projets d'exploitation gaziers en Lorraine que « l'évaluation de l'"intégrabilité" [d'une technologie] dans le territoire suppose donc d'acquérir une bonne connaissance des caractéristiques propres du territoire concerné, ainsi que des évolutions réelles et perçues apportées par le projet ». Confirmant ainsi l'importance des dimensions historique, sociale et géographique du contexte d'implantation dans le succès des projets, Gunzburger montre que l'acceptabilité sociale n'est pas abstraite, mais dépend directement des particularités de son territoire d'intégration.

Avant de conclure cette revue théorique de l'acceptabilité, nous remarquons que le travail de Batellier (2016) explicite et recense les multiples définitions de l'acceptabilité sociale qui sont apparues au cours de nos lectures. En documentant l'acceptabilité telle qu'elle est rencontrée empiriquement dans les débats, Batellier pose des balises et montre que l'acceptabilité varie selon le type d'acteur (entreprise, communauté, association), la nature (enjeu, condition, instrument, résultat, processus), la temporalité (ponctuel, temporaire, dynamique, pérenne) de son usage. Définie comme un processus de jugement ; d'évaluation et/ou de décision, elle change encore selon les critères mobilisés ou encore selon le niveau d'institutionnalisation des processus. Définie comme le résultat d'une réponse du public, sa forme peut s'étaler de l'opposition vigoureuse à l'accord total en passant par une tolérante indifférence. L'équivocité de cette notion ne fait alors plus aucun doute.

Au cours de cette revue, nous avons tenté d'être le plus exhaustifs possible au risque d'exposer des définitions différentes et il est maintenant temps de tirer des conclusions sur l'acceptabilité. Gardons à l'esprit que notre travail n'ajoute pas aux fondamentaux de l'acceptabilité, mais qu'il s'applique à une technologie spécifique, longuement exploré dans l'introduction. De ce fait, nous sélectionnons dans notre définition les éléments les plus pertinents pour délimiter ce qui fait l'acceptabilité du BECCS.

D'abord, nous écartons ce que dit le NIMBY, les manifestations bloquantes par égoïsme ou ignorance, de notre définition pour retenir ce qui est dit par ce concept, c'est-à-dire une tension entre des acteurs pro et anti. En plus, d'exister entre des acteurs cette tension se retrouve aussi entre les échelles du projet. Les points de vue des parties s'opposent sur un même niveau d'analyse, mais aussi entre les niveaux. Par exemple, des acteurs soutenant le BECCS au niveau global peuvent le rejeter au niveau local ou vice-versa. Ensuite, nous confirmons le rôle performatif de cette dualité à toutes les étapes du développement. Les discours et les actions motivés par l'obtention de l'acceptabilité sociale impactent les trajectoires de déploiement au moment de la territorialisation, mais aussi en amont de celle-ci. Enfin, l'acceptabilité s'applique à de nombreux enjeux tout au long du développement de la technologie depuis ses principes jusqu'à ses nuisances locales en passant par les modalités de sa gouvernance.

En conclusion, nous définissons l'acceptabilité sociale comme une tension entre deux pôles de définition scalaire cristallisés par des oppositions entre acteurs, qui modèle la trajectoire de développement d'une technologie. Le premier pôle en amont de la territorialisation se forme autour d'une lutte sur les principes mêmes de la technologie et les valeurs disputées entre promoteurs et opposants. Le second en aval se stabilise autour de l'appréciation des communautés locales et de la juste distribution des biens et des maux engendrés par l'implantation du projet. Entre ces deux pôles

peuvent encore surgir des controverses liées par exemple à la gouvernance du projet ou aux choix des politiques de soutien.

II. UNE seule acceptabilité ou DES acceptabilités sociales ?

De cette définition découle ce titre surprenant. En effet, c'est la première fois que nous évoquons les acceptabilités au pluriel. Nous imaginons déjà qu'entre les pôles amont et aval, la notion d'acceptabilité ne sera pas univoque et recouvrera plusieurs réalités. Nous avons particulièrement repéré dans le balisage de Batellier (2015) que le terme prête à confusion selon que l'on évoque un résultat, un moyen, un processus, un enjeu ou encore selon l'acteur qui l'utilise. Ainsi nous choisissons de parler d'acceptabilités au pluriel plutôt que de décliner sous divers types une acceptabilité au singulier. Ces variations d'acceptabilités concernent autant le fond que la forme. Celles-ci n'ont de commun que l'objectif d'acceptation, mais dont les modalités déjà changent entre celles qui sont passives : *il faut accepter* et celles qui sont actives : *il faut faire accepter*. Les écarts se creusent encore quand nous regardons *qui doit faire accepter quoi, à qui et comment*. Ainsi sous-entendre qu'il existerait un phénomène unique à la racine de l'acceptabilité entretient la confusion et c'est pourquoi nous choisissons d'évoquer des acceptabilités différentes au pluriel.

De là, nous nous attendons à retrouver sur nos terrains d'étude ces variations dans la bouche de nos acteurs. A priori, les participants à l'étude selon leurs positions ne parleront pas des mêmes réalités. Un promoteur devrait utiliser préférentiellement l'acceptabilité sous la modalité du *faire accepter* alors qu'un autre acteur pourra la décrire sous une modalité plus passive. La compréhension se complique encore lorsqu'un même acteur utilise le même terme d'acceptabilité pour définir plusieurs réalités différentes dans un même discours. Sur le terrain, ce rassemblement de sens sous un seul vocable est en lui-même une réalité sociale, qui se matérialise dans les discours des acteurs, quels qu'ils soient. Bien que « nos acceptabilités » soient distinctes pour les besoins de l'analyse, celles-ci ne sont pas séparables en réalité.

Les acceptabilités sociales se polarisent autour de deux pôles qui sont vus différemment selon les acteurs, les enjeux, les publics cibles, les causes de contestations et les moyens dédiés. Nous précisons que le public cible ne signifie pas public exclusif. Par exemple, un citoyen peut à la fois être riverain de la technologie et membre d'un collectif environnemental. Il sera donc ciblé par une acceptabilité plutôt qu'une autre en tant que riverain ou en tant que membre d'une association.

II.1. La polarisation des acceptabilités au long du développement technologique

Nous positionnons les pôles au long du développement de la technologie, depuis la conception de l'idée jusqu'à l'implantation industrielle sur un site précis. Le premier pôle est en aval du projet, c'est-à-dire lorsqu'une bonne partie des décisions sur les modalités de l'implantation locale ont déjà été prises. Pour l'instant, nous l'appellerons **le pôle local**. Nous aurions pu tout aussi bien l'appeler pôle du projet dans le sens où il rassemble les problématiques propres à un projet spécifique dans un lieu précis. Ces problématiques ne sont pas partagées par un autre projet de développement de la même technologie ailleurs. Il concerne les acteurs géographiquement proches du chantier parce que justement ils sont proches. Le point de vue sur ce pôle est double, soit nous adoptons la position des riverains contestant la présence du chantier, soit nous adoptons celle des porteurs du projet promouvant les avantages de leur technologie pour la localité. Même si d'autres points de vue sont possibles, nous anticipons au moins deux acceptabilités : **une acceptabilité du pôle local vue par les riverains** et **une autre du même pôle vu par les promoteurs**.

L'autre pôle envisagé se situe bien en amont du développement de la technologie alors que l'implantation locale n'est pas encore une question. C'est une phase de conception pendant laquelle sont discutés les opportunités, potentialités et blocages du développement de l'innovation. Les modalités particulières de déploiement ne sont pas au centre des préoccupations contrairement aux principes de la technologie, c'est pourquoi nous appellerons ce pôle, **le pôle des principes**. Là, encore nous aurions pu nommer ce pôle autrement comme par exemple le pôle filière dans le sens où il regroupe des enjeux non pas spécifiques à un projet, mais propres à une filière technologique. Ces enjeux se retrouvent donc dans tous les projets impliquant cette technologie. Cette position est encore approchée sous deux angles diamétralement opposés. Le premier est celui du promoteur qui valorise les avantages et cherche des besoins auxquels son futur produit répondra. Le second est celui de l'opposant critiquant l'innovation, car elle ne s'insère pas dans un projet de société adéquat. Aucun de ces deux types d'acteurs ne fera référence aux impacts spécifiquement locaux d'une installation industrielle, mais plus généralement à la stratégie globale que sous-tend le déploiement de cette innovation. Grâce aux travaux de Thévenot et Boltanski (1991) sur l'analyse des visions et valeurs qui peuvent s'affronter pour le développement d'une innovation ou des conclusions de Batel (2020) sur la déconstruction des récits et rapports de force entourant le déploiement d'une technologie, nous pouvons attendre deux autres acceptabilités, **une promouvant les principes du BECCS** et **une autre s'y opposant**. Entre de ces deux pôles, nous attendons à trouver d'autres acceptabilités plus liées aux modalités de déploiement national comme par exemple, les politiques publiques en soutien de la technologie.

Dans un souci de clarté, pour mieux comprendre le positionnement de ces acceptabilités nous faisons référence à l'échelle de niveau de maturité technologique (ou TRL pour Technology Readiness Level). Cette échelle évalue sur neuf niveaux le degré de maturité d'une technologie. Les premiers niveaux (1 & 2) correspondent aux publications des travaux de recherche identifiant les principes de base de la technologie et à ses potentielles applications. Les derniers niveaux (8 & 9) représentent la preuve que la technologie fonctionne dans sa forme finale, et dans les conditions d'emploi prévues confrontées à des conditions d'environnement couvrant l'ensemble du domaine d'utilisation. Sans présenter tous les niveaux de l'échelle que nous pourrions retrouver en annexe, le graphique ci-dessous en présente une vue simplifiée.

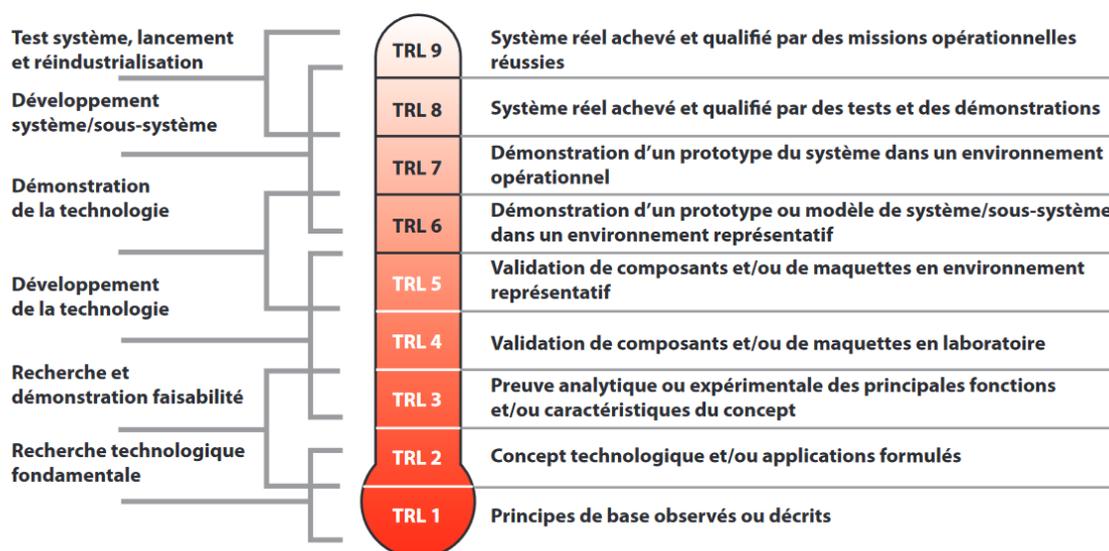


Figure 13 : Échelle de niveau de maturité technologique (source : DGA 2009)

Soyons clairs, les problématiques d'acceptabilités quelles que soient leur pôle ou leur objet ne se manifestent qu'à partir du TRL 7, c'est-à-dire lorsqu'au moins un démonstrateur se territorialise. Avant ce niveau la technologie reste dans des laboratoires ou sur des plans d'ingénieurs, ses impacts sur la société au niveau global ou local sont négligeables et invisibles. Si les problématiques apparaissent dans les derniers niveaux de maturité, les enjeux eux de ces acceptabilités émergent potentiellement à d'autres moments. Pour le pôle local, les enjeux sont concomitants aux problématiques, c'est-à-dire que tous deux sont visibles entre les TRL 7 et 9. Ce n'est pas le cas pour le pôle des principes, les enjeux sont définis par les promoteurs bien dès les TRL 1 et 3 alors que la technologie cherche encore sa faisabilité et ses principes d'application. Mais les luttes autour de ces définitions surgissent quand la maturité de la technologie le permet, entre les TRL 7 et 9 comme pour le pôle local.

Malgré la simplicité de cette échelle, rappelons que le développement technologique n'est pas linéaire. Chaque niveau de TRL décrit une étape dans le processus, mais les allers-retours entre les

étapes sont possibles. De plus, avant la démonstration avec un prototype, il est difficile d'affirmer que la technologie se situe sur un niveau plutôt qu'un autre. L'objectif de notre propos était d'illustrer la séparation entre les pôles définitionnels des enjeux entre l'amont et l'aval, malgré le fait que les problématiques d'acceptabilité deviennent visibles seulement en aval. Cette échelle nous sert à illustrer que toutes les causes des acceptabilités ne sont pas exclusivement à trouver dans la territorialisation. De plus, nous savons que les acceptabilités dépendent marginalement de facteurs technologiques et bien plus significativement de conditions socio-politiques qui n'apparaissent pas sur cette échelle. Notre étude s'intéressera donc plus particulièrement aux phénomènes socio-politiques parallèles, qui sont parfois concomitants ou pas au développement technologique.

Grâce à cette revue de la littérature, nous nous attendons donc à trouver au moins six acceptabilités différentes qui ont été totalement ou partiellement présentées par les auteurs cités précédemment. Le tableau ci-dessous classe ces grandes notions brièvement :

Tableau 1 : Grille préliminaire des acceptabilités attendues sur le terrain (Auclair, 2023)

Pôle local (en aval)		Inter-pôles (Ex : politiques publiques)		Pôle des principes (en amont)	
Vu par les porteurs de projet	Vu par les riverains	Vu par les décideurs	Vu par les concernés de la décision	Vu par les promoteurs	Vu par les opposants

Ces premiers auteurs nous ont permis d'éclaircir les grandes lignes de ce qu'est l'acceptabilité. Suite à cette vision théorique, il convient de poursuivre notre enquête en approfondissant avec les travaux récents et spécifiques à l'acceptabilité et aux dimensions socio-politiques du BECCS. À travers ces recherches, nous vérifierons la pertinence de notre définition des acceptabilités et détaillerons celles-ci avec les phénomènes propres à la technologie.

III. Les acceptabilités sociales appliquées au BECCS et au CCS

III.1. Le BECCS, une technologie discrètement controversée

L'acceptabilité sociale du BECCS est encore un sujet sur lequel peu de chercheurs ont travaillé directement. Toutefois, nous remarquons que sans qu'elle soit directement nommée « acceptabilité sociale », la question des facteurs sociaux et politiques au déploiement surgit chez plusieurs auteurs (Creutzig, 2016 ; Stoy et al, 2018 ; Hansen et al, 2022). Certains interrogent, par exemple, « l'encombrement » de ces technologies dans nos systèmes de partage et de distribution des droits et des ressources (Gunther et al, 2022) ouvrant ainsi un dialogue avec les problématiques de justice distributive, explicitées plus haut. D'autres évoquent directement la question des droits humains et surtout de leur respect par cette technologie alors qu'une concurrence risque de s'établir avec l'usage des ressources en biomasse pour le BECCS ou en énergie pour le DACCS (Galik et al, 2023). La majorité des auteurs qui travaillent sur le BECCS font cette ouverture vers les sciences sociales, et reconnaissent plus ou moins explicitement l'importance des questions sociales dans le déploiement du BECCS.

Sans que ne soit directement concernée l'acceptabilité sociale, une approche parallèle, mais notable de ces travaux se trouve dans le traitement médiatique de l'innovation. Certains auteurs tentent de caractériser le cadrage médiatique du BECCS dans l'objectif d'extrapoler quelle sera la réception par la société civile. Leurs travaux révèlent, comme dans notre définition, une polarisation des points de vue. Pour un public d'acteurs industriels ou économiques, ce cadrage est plutôt positif (Persson Skare, 2021) alors qu'au contraire, pour des publics extérieurs à ces sphères économiques, ce cadrage est interprété comme déterministe et capitaliste, ce qui véhicule une image négative (Haikola et al, 2021).

Ce cadrage médiatique, comme un effet des acceptabilités, témoigne d'une lutte définitionnelle entre les promoteurs et les opposants (Otto et al, 2021). Donnison et al. (2022) exposent les coalitions d'acteurs et leurs intérêts. Celles en faveur du BECCS, souvent issues de cercles industriels font face aux défis de la décarbonation et avancent que la technologie est à la fois une *nécessité* et une *opportunité*. De l'autre côté, les opposants, rarement intégrés à ces cercles, perçoivent le système de captage et de stockage du carbone comme *dangereux et surfait*. Les promoteurs et les opposants ne positionnent pas la technologie sur la même échelle de valeurs et par conséquent l'écart entre les conclusions n'est pas une question de degrés, mais de nature. En explicitant ces différences de perception et de valeurs, il nous semble que la réflexion des auteurs est à enrichir par les travaux sur les « cités » de Thévenot et Boltanski (1991).

Pour tenter d'évaluer l'impact de ce cadrage médiatique sur l'opinion publique, Fridahl et Lehtveer (2018) ont réalisé trois sondages auprès de plusieurs échantillons d'individus concernés par le climat au cours d'évènements dédiés à Bonn en juin 2015, à Paris en décembre 2015 (COP21) et à Marrakech en novembre 2016 (COP22). Le formulaire comprenait trois questions qui synthétisaient les axes problématiques du BECCS : l'économie, la crédibilité et l'intégration territoriale. La première question sur l'économie cherchait leurs préférences d'investissement pour la production d'électricité dans leur pays, la seconde questionnait la crédibilité du BECCS comme une solution contre le réchauffement climatique à la fois globalement et localement et la dernière question sondait les potentielles barrières locales à l'intégration du BECCS. Même si l'échantillon n'est pas représentatif de la société civile dans son ensemble, retenons tout de même les trois types de questions posées. Celles-ci permettent déjà d'ébaucher quelques points saillants de nos acceptabilités. La première question fait référence à une acceptabilité interpôle en lien avec les choix des politiques publiques et notamment de financement, la seconde rejoint plutôt une acceptabilité de principe et enfin, la troisième semble correspondre à une acceptabilité locale.

III.2. Entre deux acceptabilités, les instruments d'action publique pour le BECCS

En plus des recherches parallèles sur l'appréciation médiatique et publique de la technologie, nous avons remarqué les travaux précurseurs de Bellamy et al. (2019) sur l'acceptabilité des politiques dédiées au BECCS. À travers des sondages, les auteurs essaient de découvrir quelle forme de politique est la plus appréciée par un public composé de citoyens choisis aléatoirement sans lien direct avec le BECCS ou la transition énergétique au sein de la population anglaise. Structuré en deux parties, le formulaire sonde d'abord l'opinion sur la technologie, donnant au passage quelques clés de connaissances, car près des quatre cinquièmes des participants interrogés par Bellamy et al. ignorent l'existence de cette technologie avant de scruter le type d'instruments d'action publique préférée des citoyens anglais. En tant que solution contre le réchauffement climatique, la majorité des participants soutient le développement de cette technologie (plus de 70 %). Ce soutien reste consistant pour l'usage de la biomasse en source d'énergie, mais s'inverse si celle-ci est cultivée sur des terres agricoles (65 % contre) ou est exploitée à l'étranger (50 % contre). Pour le stockage géologique de carbone, le soutien se fait plus mesuré avec une moitié pour et l'autre contre.

Pour remplir la deuxième partie du formulaire, les participants sont séparés en trois groupes suivant une typologie particulière d'instruments d'action publique (IAP). Nous prenons ici la définition de Lascoumes et LeGalès (2005) : *Un instrument d'action publique constitue un dispositif à la fois technique et social qui organise des rapports sociaux spécifiques entre la puissance publique et ses*

destinataires en fonction des représentations et des significations dont il est porteur. Bellamy et al. classent les instruments en trois catégories selon le type de rapports qu'ils engendrent : 1) les coercitifs avec l'imposition de taxes ou de normes, 2) les incitatifs comme la distribution de subventions ou de certificats et 3) les persuasifs tels que les émissions de labels ou de standards. Chaque groupe donne alors son avis sur plusieurs outils au sein d'un même type. Les rapports coercitifs et persuasifs étaient les plus soutenus alors que ceux de type incitatif sont moins bien acceptés.

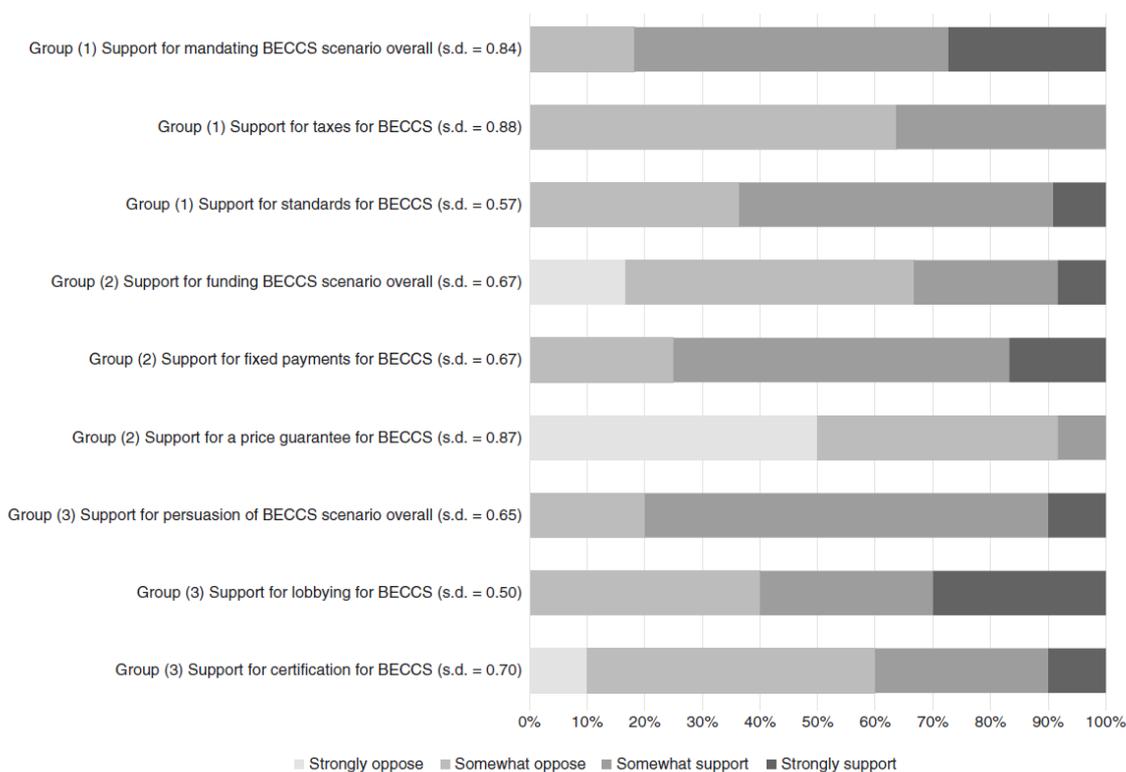


Fig. 2 Support for different policy scenarios and instruments for incentivising bioenergy with carbon capture and storage (% of participants, group 1 $n = 11$, group 2 $n = 12$, group 3 $n = 10$). Attitudes were elicited on a four-point scale (1 = strongly oppose, 2 = somewhat oppose, 3 = somewhat support, 4 = strongly support). The questions to which each dimension of BECCS pertains can be found in Supplementary Note 2

Figure 14 : préférences du public pour les types d'instruments d'action publique, Bellamy et al 2019

Cette étude révèle indéniablement le rôle des IAP dans l'acceptabilité d'une technologie. Liés à l'acceptabilité que ce soit par leur influence sur l'opinion ou leur effet, ces outils souvent éclipsés au profit d'autres facteurs plus culturels ou économiques intégreront notre évaluation de l'acceptabilité. Le BECCS est une innovation qui est particulièrement consommatrice de capitaux et nécessite, par conséquent, un soutien décisif de la puissance publique, l'existence d'une acceptabilité sociale concernant les politiques publiques dédiées à son déploiement et à son fonctionnement fait peu de doute. Ce n'est pas le genre de technologie qui peut être développée discrètement dans un garage privé avant d'inonder les marchés. La barrière économique très élevée avec un coût de quelques milliards de dollars, sans certitude sur la rentabilité du projet rend indispensable l'intervention de l'État.

Son intervention se fait très généralement sous la forme d'instruments d'action publique dont les typologies varient selon les auteurs et les enjeux. Au-delà des trois catégories de Bellamy (2019), Simard (2021) reprend une typologie en cinq catégories, elle-même issue du travail de Lascoumes et Le Gales (2004). Les instruments y sont classés suivant le type de rapport politique, nous trouvons : 1) des instruments législatifs et réglementaires, ressemblant à des instruments coercitifs puisqu'ils sont légitimés par l'imposition d'un intérêt général sur les activités privées ; 2) des instruments économiques et fiscaux qui sont coercitifs quand il s'agit de prélever une taxe ou incitatifs quand c'est pour distribuer une subvention. Le style politique est ici moins dominant, car l'État n'impose pas, mais cherche la solution la plus utile collectivement à travers des négociations et des compromis ; les instruments, 3) conventionnel et incitatif, 4) informatif et communicationnel et 5) normatif et standardisé se rapportent tous trois aux instruments persuasifs où l'État cherche à mobiliser sans commander.

Typologie des instruments d'action publique

Type d'instrument	Type de rapport politique	Type de légitimité
Législatif et réglementaire	État tuteur du social	Imposition d'un intérêt général par des représentants mandatés élus ou des hauts fonctionnaires
Économique et fiscal	État producteur de richesse État redistributeur	Recherche d'une utilité collective Efficacité sociale et économique
Conventionnel et incitatif	État mobilisateur	Recherche d'engagement direct
Informatif et communicationnel	Démocratie du public	Explication des décisions et responsabilisation des acteurs
Normes et standards <i>Best practices</i>	Ajustements au sein de la société civile Mécanismes de concurrence	Mixte : scientifico-technique et démocratiquement négocié et/ou concurrence Pression des mécanismes de marché

Source: Lascoumes et Le Gales 2004: 361.

En plus de la recherche des conséquences du choix de ces instruments, nous recherchons les causes de ce choix dans notre étude contextuelle. En intervenant autant sur la légitimité que sur la gouvernance de l'innovation, l'État s'engage dans une voie politique particulière, à même de susciter un débat et des controverses socio-politiques. Les éléments se rapportant à ces politiques seront pour leurs conséquences catégorisés dans les acceptabilités inter-pôles.

En plus de l'appréciation des IAP, Ahman et al. (2018) dressent un bilan de leur efficacité pour le déploiement du CCS en Europe. Dans les années 2010, l'ambitieux programme de financement européen NER 300 n'a pas réussi à faire naître cette technologie. Les projets à grande échelle ont été désavantagés par les règles de financement et les politiques climatiques et énergétiques de l'UE offraient des incitations inadéquates pour le CCS et les biocarburants. Les auteurs suggèrent que les principaux empêchements sont davantage liés à la faisabilité politique et légale plutôt qu'au manque

de connaissances techno-économiques nécessaire pour déclencher l'innovation. Ils élargissent ainsi la portée de notre étude à des mesures politiques transnationales pour expliquer le succès ou la déroute d'une innovation.

O'Neill et Nadaï (2012) confirment l'influence de ces mesures politiques globales qui ont inscrit le CCS dans une démarche de « démonstrateurs », réduisant potentiellement les efforts d'intégration locale. Les objectifs des promoteurs étaient de définir le risque, établir un cadre normatif et tracer les opérations en vue d'un déploiement de plus grande envergure. Mais cette stratégie de la démonstration a pour effet de limiter l'engagement des parties prenantes et surtout de déplacer le risque au fur et à mesure du développement (Beck, 1986). La rhétorique des promoteurs présente, d'abord, celui-ci comme un attribut de la technologie, c'est-à-dire hors des caractéristiques physico-chimiques ou technologiques liées à l'innovation, puis comme une variable de la technologie, pour se trouver dans les modalités de déploiement telles que la gouvernance, le suivi de projets ou le choix des sites. Toutefois, cette construction du risque exclu de nombreux facteurs habituellement considérés comme secondaires par les promoteurs tels que l'engagement des publics, le choix des politiques publiques et même la matérialité géologique ou biogénique. Tous ces facteurs plus localisés et régionalement dépendants qui sont difficilement intégrables dans une stratégie globale.

Concernant plus précisément le BECCS, notre collecte de données des politiques publiques et de leurs effets sera plus limitée, car il n'y a pas encore de politiques de soutien dédiées en vigueur en Europe. Si cette technologie apparaît encore si peu dans les mesures de politiques publiques, c'est aussi parce que les discussions sur celle-ci se cantonnent à des cercles d'experts et s'étendent peu à la société civile et au débat politique. Cette absence de politisation, dans le sillage du déploiement du CCS, nuit à la crédibilité du BECCS (Chailleux & Arnauld de Sartre, 2021). De plus comme nous l'avons vu, les acceptabilités concernent un large public, voir même plusieurs publics. Laurent et Merlin (2021) démontrent que cette multiplicité des publics engendre une diversité des types de discours entourant un même projet. Par conséquent, un débat entre experts révèle assez peu ce que sera véritablement la nature de ces acceptabilités. Malheureusement, nous n'avons pas pu explorer d'autres travaux plus ou moins liés à l'acceptabilité du BECCS. Nous élargissons notre investigation avec des travaux qui ne sont pas orientés directement sur cette technologie, mais sur des systèmes semblables ou « périphériques » afin d'en extrapoler des informations pertinentes pour notre objet d'étude.

Parmi ces technologies « périphériques », nous avons repéré les techniques de bioénergie qui partage avec le BECCS une partie de la chaîne de valeur en amont du captage et les systèmes de transport et de stockage de carbone qui eux récupèrent la partie en aval du captage. D'autres technologies à émissions négatives sont aussi l'objet d'étude sur l'acceptabilité. Toutes ces technologies génèrent

des enjeux d'acceptabilité qui sont susceptibles d'émerger à différents points de la chaîne de valeur du BECCS. Trois enjeux sont particulièrement ressortis. D'abord, en amont du captage l'approvisionnement en biomasse occupe une grande partie des discussions. Ensuite, en aval du captage l'interrogation sur le stockage géologique du carbone est aussi bien présente dans la littérature. Enfin, ce sont la faisabilité et la crédibilité des technologies à émissions négatives qui sont remise en question.

III.3. La bioénergie, un ferment de discorde ?

L'enjeu le plus visible est résolument dépendant de la promesse du BECCS qui est sa capacité à capter le CO₂ depuis l'atmosphère. Le captage par le solvant depuis les fumées de combustion arrive après le captage atmosphérique et ne pose pas vraiment de questions d'acceptabilité. Affaire de chimistes et de thermodynamicien, celui-ci – encore objet d'expérimentation – est épargné par les controverses. Ce qui n'est pas le cas de la production de bioénergie et particulièrement de l'approvisionnement en biomasse, premier moyen de captage du dioxyde de carbone atmosphérique.

Les bioraffineries, qui transforment de manière durable la biomasse en produits énergétiques comme des biocarburants par exemple, n'ont pas le même fonctionnement que les centrales électriques à biomasse, mais elles ont des enjeux d'approvisionnement similaires et nous livrent de précieuses indications. Les travaux sur les questions sociales et politiques des bioraffineries sont plus larges que ceux sur les BECCS. Ce type de technologie, qui partage une même partie de la chaîne de valeur, nous aide à cerner les enjeux de la bioénergie pour le BECCS.

La légitimité locale des bioraffineries, du point de vue des promoteurs, puise ses racines dans l'assurance qu'elles soutiendront le développement ou la réindustrialisation de leur région d'implantation et, du point de vue des dirigeants politiques, diminueront la dépendance aux énergies fossiles et lutteront contre le réchauffement climatique. Selon Bauer et al. (2017), cette légitimité est cruciale pour l'obtention d'un soutien financier de la puissance publique, absolument nécessaire car ces technologies ne sont pas économiquement compétitives. Or le soutien politique est lui-même conditionné à une bonne appréciation de ces technologies dont les trois principaux obstacles sont une mauvaise perception de la maturité technologique, une réputation douteuse de certaines sources de biomasse et des incertitudes sur les exigences futures en matière de durabilité.

Les travaux de Donnison et al. (2023) sur les campagnes médiatiques autour du projet de conversion à la biomasse de la centrale à charbon de Drax, Royaume-Uni, montrent des disparités dans les récits sur la bioénergie entre la presse locale et nationale. Localement, les médias positionnent la conversion comme un élément nécessaire de la décarbonation d'une région industrielle, avec des attributs qui relèvent plus de l'opportunité que de la contrainte en considérant la technologie mature

et l'approvisionnement fiable et durable. À l'inverse, la presse nationale présente cette conversion comme dangereuse pour l'environnement, potentiellement pire que le charbon et comme une distraction vis-à-vis d'autres solutions plus durables. Comme nous l'avons vu avec la notion des « cités », les oppositions se forment sur les mêmes enjeux, mais avec des jugements de valeur de nature différente. Atteindre un consensus politique dans ces conditions semble difficile. L'origine des difficultés réside aussi dans l'absence de certitude scientifique.

Selon Creutzig (2014) les jugements de valeur sont inhérents au fait que les impacts de la bioénergie sont scientifiquement incertains. S'appuyant sur l'indissociabilité des faits scientifiques et des valeurs politiques dans le choix des projets technologiques, ils recommandent de croiser les approches *top-down* issus des modélisations numériques IAM (Integrated Assessment Model) avec des approches *bottom-up* comme les analyses de cycle de vie. Ces croisements visent à relier « les faits et les valeurs qui sont inséparables [car] dans une telle situation (c'est-à-dire l'intégration d'une innovation), la société ne peut progresser que s'il existe un débat ouvert entre la science, la politique et le grand public sur les fins et les moyens » (Creutzig, 2014).

Précurseurs de Chailleux et Arnauld de Sartre (2021) et Donnison et al. (2022), Creutzig et al. recommandent d'ouvrir un débat public entre les scientifiques, les politiciens et la société civile pour améliorer l'implantation de ces technologies. Cette approche pragmatique invite à prendre des décisions sur ces projets de grande ampleur en dehors des communautés épistémiques, c'est-à-dire en sortant du *réseau de professionnels ayant une expertise et une compétence reconnue dans un domaine particulier et une revendication d'autorité en ce qui concerne les connaissances pertinentes pour les politiques* (Haas, 1992). Nous voyons que plusieurs auteurs s'accordent pour que les prises de décision s'opèrent en concertation avec d'autres expertises que celles des promoteurs des innovations technologiques. Greenhalgh (2022) recommande aussi que l'implantation des projets de bioénergie soit convenue entre et avec des communautés épistémiques différentes plutôt qu'au sein d'une même communauté afin de confronter les faits, les valeurs et les « cités ». Nous ne pensons pas que notre thèse pourra être poussée jusqu'à proposer une gestion différente des projets. Toutefois, nous retenons que la nature de la biomasse utilisée pour ces technologies est un enjeu d'acceptabilité sociale plus proche du pôle de principe que du pôle local.

Par ailleurs, nous constatons que l'acceptabilité sociale du BECCS concerne l'intégralité de la technologie, mais varie aussi selon la partie de sa chaîne de valeur et d'autre part, certaines problématiques identifiées par les chercheurs telles que la relation public/experts ou les échelles de valeurs ont déjà de solides bases théoriques sur lesquelles nous nous appuyerons. L'acceptabilité du BECCS apparaît déjà comme un problème composite. Pour le résoudre, nous allons croiser des

travaux en sciences sociales, en sciences de la nature et en sciences de l'ingénieur. Pour continuer notre investigation, nous creuserons de l'autre côté de la chaîne de valeur du BECCS.

III.4. Loin des yeux, loin du cœur ou la dimension structurante du NIMBY

En aval du captage, nous trouvons le transport et le stockage géologique du carbone. Aussi connu sous le nom de CCS (Carbon Capture & Storage), ce procédé a fait couler beaucoup d'encre dans la décennie précédente. Les tentatives de déploiement du CCS en Europe dans les années 2010 ont fait face à des mobilisations intenses de riverains et d'activistes écologiques, largement relayées dans les médias. Les riverains s'opposaient, entre autres, à la construction d'un espace de stockage souterrain de dioxyde de carbone à proximité de leurs habitations craignant à la fois une mise en danger de leur santé et une perte de la valeur foncière de leurs propriétés. Mais ces arguments étaient minoritaires dans les discours d'opposants et d'autres arguments anti-CCS ont eu plus de poids dans l'abandon des projets (Ahman et al. 2018 ; Feenstra et al. 2012). D'autres projets ont même été déployés en rencontrant une opposition somme toute limitée (Chailleux et Arnauld de Sartre, 2021).

Toutefois, les promoteurs et les médias se focalisant sur les arguments exclusivement tenus par les riverains au sujet de leur sécurité et du prix de leur propriété ont délibérément réduit tous les enjeux au concept du NIMBY. Or (Batel, 2020 ; Batellier, 2015 ; Freudenberg & Steinsapir, 1991) ont identifié que les contestations sur les enjeux à ce niveau étaient loin de relever du NIMBY. Les riverains et communautés associatives se mobilisaient pour défendre des objectifs ou des valeurs plus politiques que géographiques. Toutefois, l'effet cumulatif des acceptabilités en fin de maturité de la technologie brouille souvent les vrais enjeux des acceptabilités antérieures au profit d'autres plus postérieures.

Confondant enjeux et problématiques, les promoteurs ont accusé les oppositions d'être, d'une part, exclusivement locales et d'autre part, responsables de l'abandon des chantiers. Un rapport de l'Ineris de 2017 pointe, par exemple, l'annulation d'un projet de CCS aux Pays-Bas « **exclusivement** causée par la forte opposition de la population et des collectivités locales ». Plus nuancée, l'ADEME publie en 2020 un document dans lequel elle développe que « **la principale contrainte** pour le développement d'un site de stockage géologique, dès lors qu'une source de CO₂ est à proximité, est l'opposition sociétale locale ».

En conséquence de ce qu'ils pensent être à l'origine des problèmes, les promoteurs ont adapté leur stratégie en déplaçant les zones de stockage dans des lieux inhabités. Les autres arguments de l'opposition qui remettaient en cause, par exemple, la faisabilité à court terme de la technologie ou son coût prohibitif par rapport à d'autres méthodes de réduction des gaz à effet de serre n'ont, en

revanche, pas fait l'objet de mesure palliative par les porteurs de projet. Cette translation du stockage vers des zones de stockage en mer se traduit même par une hausse des coûts comme en témoigne un rapport français au conseil général de l'économie de 2021¹⁴.

Concernant le CCS, deux problématiques majeures émergent : l'acceptabilité sociale et les coûts additionnels liés au transport du CO₂. En effet, en raison de la sensibilité des populations face au stockage du CO₂ près de leur lieu de vie, le modèle dominant actuellement consiste à capter le CO₂ puis à le transporter par voie maritime vers des gisements pétroliers déplétés, ou les aquifères salins off-shore.

Force est de constater que malgré ses contraintes économiques, la notion de NIMBY structure bien la pensée des porteurs de projet comme nous l'avons identifié au §I.2. Ainsi les arguments faisant référence aux adaptations du projet pour limiter ou éviter les mobilisations de riverains seront intégrés à notre catégorie d'acceptabilité du pôle local vue par les porteurs, tout comme les initiatives sur le rôle de la justice distributive dans les processus de co-construction des projets (Simard, 2021) et sur la fabrique du consentement technologique à travers les normes, régulations et diverses consultations (Fressoz, 2013).

Du point de vue des riverains, nous retiendrons principalement les références à la perception des risques géographiques. Cette forme de réception par les riverains ou les usagers des ressources à proximité des installations industrielles ainsi que les suppositions des promoteurs sur les nuisances de leurs installations rejoindront la seconde catégorie du pôle local. Les deux visions sont, en effet, étroitement liées, car de la vision du risque des porteurs du projet naîtra probablement des méthodes de communication ou de régulation pour minimiser ces risques et donc biaiser la perception des riverains. Par exemple, une régulation réduisant les débits d'injection ou les quantités stockables réduira *effectivement* l'intensité des accidents en cas de fuite ou d'explosion et permettra de rassurer le public, donc d'améliorer sa perception du projet.

Aujourd'hui, la combinaison des technologies CCS avec une source d'émissions de dioxyde de carbone issue de la bioénergie a tendance à occulter les controverses sur le stockage géologique (Hansson et al, 2022). Une des explications peut tenir au fait que le sous-sol n'est pas directement accessible à nos sens, il ne peut être appréhendé qu'à travers des instruments ou des avis d'experts. Mesurer les impacts souterrains de ces techniques est alors délicat pour des publics non-initiés. À l'inverse, les impacts de surface comme la surexploitation forestière ou la perte de biodiversité sont plus facilement repérables par tous types de public.

¹⁴ Rapport du conseil de l'économie au gouvernement français en 2021
https://www.economie.gouv.fr/files/directions_services/cge/decarbonation-entreprises.pdf

Hansson et al. (2022) proposent une seconde raison. L'urgence climatique allant croissante, la nécessité de réduire la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et donc d'adopter ces technologies à émissions négatives se fait plus prégnante. Par ailleurs, les connaissances des risques et procédés associés se sont améliorées depuis les premières tentatives de déploiement du CCS à la fin des années 2000. Est-ce que pour autant la composante souterraine du BECCS et plus largement l'aval du captage ne posent plus de problèmes dans les acceptabilités locales ?

III.5. Les acceptabilités dépendantes d'un contexte territorial ?

Même si le CCS est une innovation mondiale, dans le sens où elle se développe simultanément dans plusieurs pays en même temps et est stimulée par des instances internationales comme le G8, les projets se construisent dans des territoires géographiques précis et sont le résultat d'une interaction entre des réseaux régionaux, nationaux et globaux. La capacité d'un territoire à mettre en œuvre une innovation dépend donc de ses particularités propres, des acteurs qui s'y trouvent et de leurs connaissances et liens avec d'autres. Le processus d'innovation se régionalise et par là, nous entendons non seulement géographiquement, mais aussi socialement et cognitivement (Daviet, 2004). Comme le CCS est une innovation que se régionalise, il en est de même de son acceptabilité sociale qui varie d'un projet à l'autre.

Ainsi les enjeux de ces acceptabilités ne sont pas réductibles de manière globale à la seule proximité avec une zone de stockage. Même si les expériences d'intégration sur des gisements onshore dans les années 2010 en Europe se sont souvent conclues par des échecs, nous notons l'existence de quelques cas extra-européens qui servent de contre-exemples en ayant réussi leur intégration territoriale.

Aux États-Unis, le CCS a, par exemple, pu se développer grâce à un modèle économique particulier. Le carbone est injecté sous terre, non pas pour limiter le réchauffement climatique, mais pour améliorer l'extraction d'hydrocarbures. Il rejoint alors les techniques de récupération assistée du pétrole (ou EOR pour Enhanced Oil Recovery en anglais). Les exploitants d'hydrocarbure payent alors les injecteurs de carbone, car ils peuvent ainsi augmenter la quantité de pétrole récupérée dans leur gisement. De cette manière, un des principaux obstacles du CCS qui est l'absence de revenus pour le carbone stockée est surmonté, mais comme le carbone stocké permet l'extraction de plus de carbone, il est certain que le résultat de l'opération ne produit pas d'émissions négatives. Toutefois, comme le démontrent Pianta et al. (2021) à travers un sondage réalisé en 2018 auprès de 1520 citoyens états-uniens, ceux-ci priorisent les dimensions économiques telles que les coûts et les politiques de financement de cette technologie sur ses impacts environnementaux. Le soutien à ce type de technologie décroît dès que des mesures interventionnistes comme des subventions ou des

taxes sont introduites pour les déployer. Au-delà d'une sensibilité particulière outre-Atlantique pour les questions économiques, nous confirmons l'importance du choix du type d'instrument d'action publique dans les acceptabilités inter-pôles.

Krause et al. (2014) réalisent également un sondage auprès de 1001 résidents de l'Indiana, États unis, arrivent aux mêmes conclusions. Près de trois quarts des participants de cet état fortement marqué par l'exploitation du charbon placent les critères de réindustrialisation et de redynamisation économique comme des priorités pour l'acceptabilité de la technologie. Nous retenons dans ce cas que l'intégration d'une technologie dépend de l'histoire du territoire.

Mabon et al. (2015) arrivent aux mêmes conclusions pour expliquer un déploiement réussi de CCS en bord de mer à Tomakomai, Japon. Sans EOR, ce projet a pu s'intégrer selon les auteurs grâce à un effort important et durable de dialogue et de compréhension entre les promoteurs et les communautés locales, notamment les pêcheurs. En effet, le stockage du carbone est perçu par les locaux comme une activité nouvelle, disruptive des activités déjà établies. Or l'arrivée de cette nouvelle entreprise a suscité des craintes sur un éventuel bouleversement de l'économie locale, mais les porteurs du projet ont compris l'importance du contexte social, historique et culturel grâce à de nombreux échanges entre les parties prenantes. Ils ont alors adapté leur chantier avec l'identité locale permettant ainsi l'aboutissement d'une usine CCS côtière. L'exemple japonais tout aussi éclairant que l'exemple américain ajoute aux acceptabilités du pôle local la nécessaire prise en compte de l'intégration d'une nouvelle activité industrielle au cœur d'un écosystème culturel et économique déjà existant.

Revenons maintenant sur le terrain européen qui nous livre des conclusions approchantes tout en étant sensiblement différentes. Gough et Mander (2019) ébauchent l'acceptabilité du BECCS en partant des controverses sur le CCS. Elles reconnaissent, à travers les échecs du déploiement du CCS, la prédominance de facteurs culturels, sociaux, politiques et éthiques. Pour elles, les promoteurs européens n'ont pas été aussi soigneux que leurs homologues japonais. L'environnement socio-technique local et national n'a pas été suffisamment bien jaugé par les promoteurs qui n'y ont, par conséquent, pas adapté leur projet. Étonnamment, elles constatent une tendance similaire dans la littérature sur l'acceptabilité du BECCS qui s'oriente plus vers les *« questions mondiales, telles que l'éthique et la gouvernance associées à l'utilisation du BECCS pour produire des émissions négatives, que sur les réponses potentielles au niveau communautaire. De plus, avec le potentiel d'extension des chaînes d'approvisionnement s'étendant sur plusieurs sites, les projets BECCS sont susceptibles d'affecter plusieurs communautés « hôtes », et appellent ainsi à « la nécessité de comprendre le CCS et le BECCS comme un système socio-technique grâce à des recherches spécifiques au contexte ».*

Cette incidence de l'environnement local sur l'acceptabilité du stockage de carbone se trouve remarquablement illustrée dans deux projets de CCS allemands décrits par Dütschke (2011). L'un d'eux, à Ketzin, fut bien accepté par les riverains et a pu être mené à son terme alors que le second, à Beeskow, a été bloqué par la mobilisation des habitants et des associations environnementales. L'auteur indique que même si la géographie, la culture, le style politique et la technologie étaient semblables pour ces entreprises, trois variables contextuelles ont fait la différence entre le succès et l'échec. Tout d'abord, la finalité du projet, à Ketzin, le stockage était expérimental donc à petite échelle et limité dans le temps alors qu'à Beeskow, les promoteurs planifiaient une installation durable à échelle industrielle. Ensuite, le profil du porteur de projet a varié. Le stockage expérimental était mené par un ensemble de laboratoires académiques alors que le stockage industriel par une société d'énergie étrangère. Enfin, le type de financement, qui pour le premier était un financement public alors que pour le second était privé et subventionné par l'UE, a joué un rôle déterminant.

Expliquer le succès ou l'échec du stockage de carbone sur trois variables seulement peut sembler réducteur, mais cela s'explique aussi par le choix des cas d'étude qui sont géographiquement très proches. Lancés la même année, dans la même région d'Allemagne, captant à la même source d'émissions, ces projets avaient peu d'autres distinctions à offrir à l'analyste. Dütschke et al. (2016) complètent leur propre grille d'analyse contextuelle quelques années plus tard pour comparer d'autres projets. Ils y ajoutent des facteurs plus matériels comme le type de transport pour le dioxyde de carbone, la localisation de la zone de stockage et la nature de la source d'émissions. Même s'ils ne négligent pas la matérialité, les auteurs insistent sur la prise en compte prioritaire des variables socio-politiques sur celles plus techno-physiques comme déterminantes du contexte de l'acceptabilité du stockage de carbone.

Un rapport du Global CCS Institute détaille plus largement les événements qui ont conduit à l'échec du projet de Beeskow mené par Vattenfall¹⁵. Il utilise le terme de « political spaghetti » pour décrire cet enchevêtrement de causes indissociables. Plusieurs mois avant le début du chantier, l'entreprise lance une campagne de communication très localisée en espérant convaincre des bienfaits du CCS malgré une mauvaise réputation nationale. En effet, le récit entourant cette technologie en Allemagne n'est pas celui d'une technologie verte, mais celui d'une caution décarbonante pour une activité extractive de charbon. Ainsi plusieurs manifestations de riverains et d'associations sur le chantier ont eu lieu, mais l'auteur reconnaît que celle-ci n'ont eu qu'un impact mineur sur l'annulation du projet. En revanche, la loi allemande qui laisse une grande initiative aux Länders

¹⁵ Rapport du Global CCS Institute sur le déploiement global du CCS en 2013

<https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/92266/communications-carbon-capture-storage.pdf>

sur les modalités de déploiement du CCS n'établit pas de stratégie nationale claire. Le calendrier électoral n'était pas non plus en faveur d'un support politique pour cette technologie.

« *While local opposition and effective lobbying certainly drove delays at a political and policy level, in the end a string of botched political compromises, a General Election and the lack of a clear national strategy on CCS at first stalled, and ultimately stymied, Vattenfall's efforts; less than two years after its launch* » [Prangnell, Global CCS Institute 2013]

Cette envergure de la dimension politique des projets de CCS est amplement décrite par Feenstra et al. (2012). Grâce une lecture minutieuse des débats du parlement néerlandais entre 2008 et 2012, les chercheurs reviennent sur les événements strictement politiques qui ont conduit à l'arrêt du programme de développement du CCS à Barendrecht. Les problématiques d'acceptabilité qui se manifestent sur le chantier par des mouvements sociaux d'opposition très médiatisés ont attiré l'attention des députés néerlandais et révélé des enjeux sur cette technologie bien antérieurs à la mise en œuvre du chantier. Les députés soulèvent publiquement pour la première fois des questionnements sur les principes généraux et les modalités de déploiement du CCS. Comme une situation localement conflictuelle a émergé et que les médias diffusent majoritairement un récit négatif sur la technologie, tous les députés sont progressivement forcés de prendre position sur des questions telles que : est-ce que le CCS est vraiment nécessaire ? Est-ce que cette technologie n'est pas dangereuse ? Quelles sont les conditions pour mettre en œuvre le stockage ? Est-ce une technologie utile socialement, environnementalement et économiquement ? Autant de questions essentielles qui caractériseront notre catégorie des acceptabilités de principe. Finalement, le déploiement du CCS a été placé au sommet des priorités législatives des Pays-Bas en quelques mois. Pour mettre fin à cette ébullition, les parlementaires de tous les bords politiques ont voté rapidement contre l'implantation du stockage géologique de carbone sur leur territoire national. Cette décision prise dans une situation de conflit témoigne encore une fois de la nécessité de *politiser* le déploiement des technologies négatives avant la mise en œuvre des chantiers.

De ces exemples européens et particulièrement allemands et néerlandais, nous constatons bien le rôle de toutes les acceptabilités dans l'annulation des déploiements malgré un effet cumulatif des problématiques concentrées au moment du chantier. Les mobilisations surgissent lorsque des questions de fond sur le déploiement de la technologie n'ont pas été traitées antérieurement à des niveaux politiques supérieurs. Ces questions enfouies pendant la construction resurgissent à la lumière du conflit social et bloquent le projet. L'acceptabilité sociale des riverains telle que décrite par les promoteurs ressemble au symptôme d'une démarche technocratique d'intégration territoriale

du CCS dont l'étendue des impacts ainsi que les moyens de mise en œuvre n'ont pas été suffisamment ou correctement débattus avant l'implantation locale.

Ces travaux éclairent les caractéristiques des acceptabilités qui se forment en aval de la chaîne de valeur. Elles soulignent l'importance, pour les porteurs des projets, des moyens mis en œuvre pour éviter le NIMBY et la nécessaire maîtrise des risques technologiques. Pour les riverains le point important réside dans l'adéquation de la technologie avec l'environnement économique et historique du territoire. La relation avec le porteur de projet est aussi un élément déterminant comme peuvent l'être le type de financement et la nature du débat politique national sur le BECCS.

Plusieurs questions relatives aux acceptabilités de principe notamment sur la crédibilité et à la légitimité de la technologie dans les stratégies nationales de décarbonation ont été soulevées et nous allons les approfondir dans le paragraphe suivant.

III.6. La légitimité et la crédibilité du BECCS au centre des acceptabilités de principe

Le BECCS, de par son rôle de translation de la pollution atmosphérique vers le sous-sol en aval de l'activité économique, hérite des interrogations sur la crédibilité et la légitimité du CCS. Vergragt et al. (2011) montre cet héritage en comparant les forces et faiblesses des différentes variantes du CCS selon qu'elles sont associées aux énergies fossiles (FECCS – Fossil Energy Carbon Capture & Storage) ou à la bioénergie (BECCS). Le déploiement européen du CCS dont nous parlions correspond presque exclusivement au FECCS. Les auteurs évaluent le potentiel de succès du FECCS et du BECCS sur des critères qui ne concernent pas directement la technologie, mais son environnement techno-économique tels que la légitimité, l'orientation de la R&D ou encore la création de marchés. Les indicateurs choisis dans le tableau ci-dessous montrent alors un terrain plus favorable au CCS qu'au BECCS globalement en 2011.

Function	Indicators used	CCS	BECCS	BECCS strength (relative to CCS)
Legitimacy	Scientific establishment, lobbyists, arguments	Strong	Small/none	Weak
Guidance of search	Targets, roadmaps	Strong	Weak	Weak
Knowledge creation	Publications and projects	Strong (rhetorically)	Strong re R&D, but less re users	Weak explicitly (inadvertently strong)
Knowledge diffusion	Collaborative forums, NGO knowledge	Strong	Small	Weak
Entrepreneurship	Companies in demonstrations	Strong	Small	Weak
Market creation	Demonstration subsidies	Strong	Some	Inadvertently some
(Resource mobilization)	(Money for R&D and demos)	(Strong)	(Strong/some, but inadvertent)	(Inadvertent)

Figure 15 : Facteurs d'intégration du CCS par rapport au BECCS ; Vergragt et al 2011

L'avenir donnera tort à leurs conclusions, mais les auteurs devaient le pressentir, car à côté de leurs critères, ils esquissent une analyse sociopolitique qu'ils prévoient défavorable pour la légitimité du CCS. Les critiques qui lui sont faites de verrouiller la production d'électricité dans une dépendance aux énergies fossiles impactent négativement le bien-fondé de cette solution. Le BECCS, en sortant

de cette dépendance, voit sa légitimité favorisée. Cette réflexion montre que leur approche peut être enrichie par l'inclusion d'autres critères moins centrés sur la technologie, mais sur la société, comme par exemple, les représentations collectives. En examinant le rapport de la société à l'énergie et surtout à ce qu'elle devrait être dans le contexte de la transition énergétique, les promoteurs se sont rendu compte que l'ajout du CCS sur des centrales à énergie fossile desservirait sa légitimité dans le cadre d'une transition décarbonée.

Jouant sur cette nouvelle combinaison « vertueuse » avec la bioénergie, les porteurs de projet, qui sont d'abord des acteurs économiques, cherchent naturellement à positionner leurs solutions devant celles de leurs concurrents en vantant son efficacité et sa faisabilité. Pour ce faire, ils mettent en œuvre divers moyens pour convaincre la société civile et les autorités de la « bonté » de leur projet, c'est-à-dire de ses impacts positifs écologiques et économiques.

Dans ce cas, ce n'est plus le consentement ou l'indifférence des acteurs extérieurs qui sont recherchés, comme ce pouvait être le cas avec leur conception du NIMBY, mais bien l'adhésion du public à leur stratégie d'entreprise. L'acceptabilité sociale est considérée comme un résultat. Reconnaissant la dimension critique des oppositions aux grands projets énergétiques telle que décrite par Batel (2020), les promoteurs désirent établir un lien de confiance avec la société civile. L'enjeu est ici celui de la légitimité du BECCS à travers notamment les principes de la justice représentative où des consultations, des débats et des séances d'information sont organisés en amont ou pendant le projet pour rassurer et convaincre. Les démarches de participation ou d'informations publiques sont les moyens privilégiés par les promoteurs, les experts et les autorités publiques pour reconsidérer un lien de confiance avec les citoyens (Batellier, 2015).

Plus que le déploiement de la technologie, nous assistons aux véritables déploiements de justifications pour tenter un effort de transparence sur la stratégie qui sous-tend l'émergence du BECCS et ainsi réhabiliter un lien de confiance entre industriels et citoyens. Les justifications peuvent être globales, nationales ou locales. Comme illustration, nous pouvons citer une présentation d'un projet suédois qui adoptait une approche nationale en affirmant que le BECCS était le chaînon manquant entre les ressources du pays et les besoins de compensation carbone de celui-ci. Dans ce cas, nous intégrerons ces récits aux acceptabilités du pôle des principes, du point de vue des promoteurs.

Ces stratégies de justifications n'interrogent pas la légitimité de la technologie, elle-même, qu'elle soit FECCS ou BECCS alors que celle-ci est souvent remise en question par des associations ou des chercheurs. Dyke et al. (2021) pointent du doigt son risque intrinsèque, qui ne change pas quel que soit le stade du développement, de distraire notre attention de l'implantation d'autres solutions

susceptibles d'agir en amont des émissions et non en aval par compensation. Cette action en « bout de chaîne », c'est-à-dire pour compenser des émissions « positives » déjà produites impacte très fortement la légitimité et la crédibilité.

Fisher & Freudenburg (2003) critiquent cette démarche d'agir en aval des émissions afin de minimiser les changements dans l'activité. Cette approche de modernisation écologique, qui vise à allier capitalisme et écologie, ajoute un compensateur d'émissions carbonées en bout de chaîne pour continuer le « *business as usual* ». Cette attitude du *statu quo* mine la légitimité du BECCS et encourage (Antal, 2018 ; van Vuuren et al, 2018) à proposer des alternatives en amont potentiellement plus efficaces et moins coûteuses comme la réduction du temps de travail, l'électrification de l'industrie et les changements d'habitude de consommation. L'existence d'alternatives affaiblit la rhétorique de *nécessité* souvent évoquée dans le cadrage des promoteurs du BECCS amoindrissant encore sa légitimité.

Compagnon (2019) discrédite le BECCS en déconstruisant le discours sur la nécessité des technologies à émissions négatives pour atteindre les 2 °C de l'Accord de Paris. Ces technologies sont, pour lui, des *technofix* – des promesses technologiques irréalistes, mais attrayantes. Elles sont irréalistes, car pour les mettre en œuvre à l'échelle globale, une institution de gouvernance internationale serait nécessaire pour les développer et les réguler. Or le déploiement du BECCS fait plus souvent appel à une logique de compétition économique rendant fort peu probable cette collaboration internationale. Il affirme, en revanche, que le risque de détourner l'attention d'autres solutions plus efficaces et plus faisables est lui bien réel.

Du point de vue des opposants, les controverses du pôle des principes trouvent leurs racines dans les critiques de la stratégie sous-jacente au développement du BECCS. Ces arguments sont initialement portés par des publics géographiquement et cognitivement éloignés des promoteurs de projets. C'est pourquoi, ces oppositions de principe se font plus généralement entendre auprès des décideurs et des pouvoirs publics, par exemple, par des activités de conseil dans des instances nationales ou transnationales, à la Commission européenne ou bien par des actions médiatiques devant des ministères. L'enjeu recherché est une influence sur la définition d'un projet politique de production et de consommation d'énergie décarbonée à l'échelle nationale et parfois mondiale. Elle se structure principalement autour d'une remise en question de la crédibilité technologique, politique ou organisationnelle selon 3 axes principaux.

La première critique se détourne des dangers et des nuisances pour l'environnement dans le périmètre des infrastructures industrielles pour se focaliser sur le projet politique qu'elle porte. Ce n'est plus la répartition des bénéfices et des maux qui en jeu, mais une vision de la société. Ce type

de critique sur le CCS pointe du doigt la « caution verte » qu'il représente pour la continuité de l'exploitation du charbon. Elle dénonce un futur verrouillé dans une dépendance aux énergies fossiles. De la même manière, le BECCS est accusé de porter un projet de société, qui ne remet pas en question son modèle de croissance économique fortement émetteur de CO₂. En effet, le BECCS par sa capacité à absorber des émissions déjà présentes dans l'atmosphère vient compenser, en aval, les émissions de la production agricole ou industrielle et des transports.

Le deuxième type de critique se concentre sur les menaces que fait peser l'exploitation de la biomasse. La combinaison des rendements actuels du BECCS avec les projections sur la production d'émissions négatives pour respecter les Accords de Paris fait craindre le pire aux associations environnementales et aux académiciens. En effet, atteindre les quantités de biomasses nécessaires pour suivre les scénarios du GIEC, par exemple, paraît improbable (Brack & King, 2021) sauf à pratiquer une déforestation massive et mettre encore plus en danger la biodiversité. Ces besoins sont alors mis en perspective avec des sources d'énergie ou des méthodes de production alternatives moins gourmandes en ressources organiques. Dans ce cas, l'efficacité technologique du BECCS n'est pas remise en cause, mais c'est la faisabilité de son approvisionnement en ressources qui est très surveillée.

Enfin, la nature de l'approvisionnement en biomasse occupe encore le dernier type de critique. Ce n'est pas la quantité de biomasse nécessaire qui est interrogée cette fois, mais la qualité de celle-ci pour que la production d'émissions négatives soit réellement climato-bénéfique. Les promoteurs du BECCS arguent que les centrales ne brûleront que des résidus de bois. Ce terme reste à définir. Il peut désigner à la fois, ce qui reste du bois après une première transformation dans les scieries ou bien les parties primaires que les scieries n'exploitent pas comme les parties supérieures du tronc et les branches ou les arbres qui n'ont pas de valeur commerciale. Dans le premier cas, l'exploitation de la biomasse associée à une bonne gestion des forêts produirait assurément des émissions négatives, en réduisant vraiment le dégagement de CO₂ dans l'atmosphère sur le bilan global. Dans le second cas, la nature de la biomasse ne permet pas de générer réellement d'émissions négatives, car l'exploitation forestière se fait directement et rapidement pour approvisionner les centrales. Les forêts ainsi coupées génèrent naturellement du CO₂ pendant leur cycle de régénération et viennent alourdir le bilan de production qui n'est alors plus négatif en carbone malgré le stockage géologique du CO₂. Dans cet argument, c'est la crédibilité scientifique de la comptabilité du carbone qui est questionnée. Les porteurs de cet argument attendent donc un changement dans les règles de comptabilité du carbone afin de mieux prendre en compte ses connaissances sur les cycles naturels forestiers d'émissions et d'absorption du carbone.

IV. Proto-cadre et problématique

Cette revue de littérature touche à sa fin et nous pouvons maintenant tirer des conclusions appropriées sur l'acceptabilité sociale appliquée au BECCS. Tout d'abord, nous avons constaté que l'acceptabilité telle qu'elle était évoquée par les acteurs fournissait un cadre limité de compréhension des phénomènes que ces acteurs voulaient décrire. Loin de la conception largement utilisée par les promoteurs du NIMBY, nous avons montré grâce aux travaux menés ces dernières décennies sur la théorisation de l'acceptabilité que celle-ci s'étendait considérablement au-delà des problématiques exclusivement locales.

L'acceptabilité ou les acceptabilités, comme nous les avons définies plus haut, incluent des considérations politiques et techniques à la fois locales, nationales et globales. Les acteurs selon leurs positions dans le territoire et vis-à-vis de la technologie adoptent des points de vue différents sur le développement de l'innovation à plusieurs niveaux. Ces tensions entre les niveaux et les positions caractérisent les acceptabilités que nous répartissons entre deux pôles.

Un pôle local dont les enjeux d'intégration territoriale sont définis en aval du déploiement. Ce pôle regroupe les stratégies de contrôle des risques sociotechniques tels que ceux-ci sont interprétés par les promoteurs, c'est-à-dire principalement à l'aide du NIMBY. Les réflexions sur l'adaptation de l'innovation aux déterminants contextuels du territoire comme son économie, sa culture ou son histoire sont souvent minimisées par les porteurs de projet européen et mis en évidence par les oppositions locales, bien plus que les potentielles nuisances de voisinage.

Un pôle de principe dont les enjeux se situent bien avant le déploiement, dans les premières phases de la trajectoire d'innovation. Ses problématiques, en revanche, apparaissent en aval, entraînant ainsi une confusion entre enjeux et problématiques au détriment de la compréhension du phénomène d'acceptabilité. Dans ce pôle sont recherchés les principes et moyens qui justifient le développement du BECCS à des niveaux nationaux ou globaux. Les promoteurs auront généralement recours à l'urgence climatique mondiale et au maintien de l'économie sans disruption majeure. Les opposants préféreront évoquer le découplage entre économie et émissions de GES pour montrer que le BECCS ne s'inscrit pas dans une trajectoire véritablement pérenne de réduction des émissions. De plus, la bioénergie n'est pas automatique bonne pour le climat ou l'environnement, les conditions de son exploitation sont déterminantes pour cela.

Entre ces deux pôles, n'ayant de rapport direct ni avec les principes ni avec l'implantation dans un territoire précis, les politiques publiques en soutien au BECCS ont une influence incontestable tant sur l'acceptabilité de la technologie que sur le succès ou l'échec de son déploiement. Il est essentiel

de les prendre en compte dans notre cadrage. De plus, les débats politiques aux échelons nationaux chevauchent des enjeux décrits dans les deux pôles. Une position intermédiaire convient, par conséquent, mieux pour leur analyse.

Tableau 2 : Caractérisation des acceptabilités attendues pour le BECCS, Auclair 2023

Pôle local (en aval)		Inter-pôles	Pôle des principes (en amont)	
Vu par les porteurs de projet	Vu par les riverains	Vu par les administrateurs et les administrés	Vu par les promoteurs	Vu par les opposants
Moyens mis en œuvre pour éviter le NIMBY + Maîtrise des risques technologiques	Adéquation de la technologie et du porteur de projet avec le contexte historique et économique du territoire	Type de financement public + Existence et nature du débat politique sur la technologie	Justifications de la stratégie de développement du BECCS dans une perspective globale ou nationale	Adéquation de la technologie avec un projet global de découplage économie/émissions + Obtention de résultats climato-bénéfiques soumis à une gestion stricte de la biomasse autant en qualité qu'en quantité

La grande majorité des lectures que nous avons faites décrivent avec précision les différentes réalités sociales qui composent l'ensemble de la notion d'acceptabilité sociale. Ces phénomènes trouvent leurs racines dans un croisement entre des enjeux divers au niveau de la technologie ou du territoire et des facteurs contextuels géographiques, sociaux ou politiques. Les enjeux comme les arguments sont souvent bien décrits par les auteurs même s'il est rare de voir rassembler chez un même auteur à la fois les enjeux technologiques et territoriaux. En revanche, les explications sur les facteurs contextuels sont relativement rares. Certains auteurs évoquent les dimensions politiques comme Feenstra et al. (2012) en expliquant l'échec du CCS en Suède par « *un spaghetti politique* », mais

même dans ces cas, il s'agit des événements de politique nationale qui suivent le déploiement de la technologie et non qui le précèdent. Le contexte socio-politique dans lequel va s'intégrer la technologie avant que les projets n'apparaissent est trop souvent négligé dans les études sur l'acceptabilité.

Or plusieurs auteurs (Vergragt et al., 2011 ; Gough et Mander, 2019 ; Hansson et al., 2022) soulignent dans leurs publications les effets du contexte antérieurs à l'intégration de la technologie qu'elles soient BECCS ou CCS. Sans pour autant détailler ce contexte, les auteurs insistent sur l'importance de sa prise en compte dans des recherches ultérieures pour expliquer pleinement l'émergence des phénomènes d'acceptabilité. Nous constatons dès lors une lacune dans la littérature que ce travail se propose de combler. Notre objectif sera donc de savoir :

Comment le contexte sociopolitique du territoire d'intégration des centrales BECCS construit les différents phénomènes d'acceptabilités pour cette technologie ?

Pour répondre à cette problématique, nous construirons dans le chapitre suivant un cadre d'analyse du contexte et élaborerons une méthodologie d'enquête pour nos terrains d'étude.

Deuxième Chapitre

Cadrage et Méthodologie

L'évaluation des contextes socio-politiques

Introduction

Grâce à cet état de l'art, nous avons pu définir un périmètre plus précis pour notre étude de l'acceptabilité du BECCS et surtout déterminer l'espace de recherche dans lequel notre travail apporterait une plus grande contribution. La première partie du chapitre précédent nous a montré l'importance de la prise en compte du contexte d'intégration d'un projet donné pour évaluer l'acceptabilité sociale du BECCS, en plus de pointer les principales difficultés de la technologie sur ces aspects. La deuxième partie a dévoilé des éléments contextuels de ce type de technologie ainsi que d'autres facteurs que l'acceptabilité potentiellement capables de mettre le projet en échec. Enfin, la dernière partie a précisé les frontières de l'acceptabilité en l'établissant entre deux pôles situés en aval et en amont du développement du projet.

Explorant plus en avant le périmètre ainsi défini, ce deuxième chapitre a, d'abord, pour objectif d'établir un cadre d'analyse qui s'inspirera de travaux menés en science politique pour expliquer des transitions énergétiques au niveau national. Nous adapterons ces recherches pour intégrer les composantes découvertes dans le chapitre précédent en nous concentrant sur le contexte d'un projet particulier aux échelons local et national. Puis avec un cadre bien défini, nous choisirons nos objets d'étude pour y appliquer une méthode de comparaison. Nous présenterons les deux terrains européens que nous comparerons selon les grandes variables contextuelles. Enfin, nous expliciterons le déroulé de l'enquête qui sera principalement menée par des entretiens semi-directifs.

I. Le cadre de l'étude contextuelle

La première partie du chapitre précédent nous a appris que la littérature sur l'acceptabilité sociale du BECCS gagnerait à être enrichie par une analyse du contexte socio-politique de l'intégration de cette technologie. De plus, la troisième partie du même chapitre se conclut sur les différentes manifestations de l'acceptabilité. Comme les études du contexte et de l'acceptabilité sont séparées autant temporellement qu'analytiquement, nous choisissons d'élaborer deux grilles d'analyse. En effet, le contexte se construit dans un temps plus long que celui du projet puisque la littérature a déjà montré l'influence de facteurs historiques lointains au niveau national alors que les types d'acceptabilité apparaissent avec l'émergence de la technologie sur un temps plus court. Enfin, dans notre thèse le contexte agit comme une des causes de l'acceptabilité qui se présente alors comme une conséquence. La grille du contexte « causal » sera par la suite mise en relation avec la grille d'acceptabilité « conséquentiel » que nous avons ébauchée au chapitre précédent. Ce découpage cause-conséquence intervient ici pour mieux comprendre les successions et dépendances des phénomènes sur lesquels nous porterons notre attention, mais nous ne nous attendons pas à trouver

exclusivement des liens de causalité, mais aussi et même plus particulièrement des liens de corrélations.

En plus de relier l'acceptabilité au contexte, l'objectif de ces deux grilles est de décrire de manière homogène, c'est-à-dire selon les mêmes variables, les situations respectives de nos deux cas d'étude. La première, qui explicite le contexte, est déductive. Elle est principalement issue de la littérature scientifique et contient six variables.

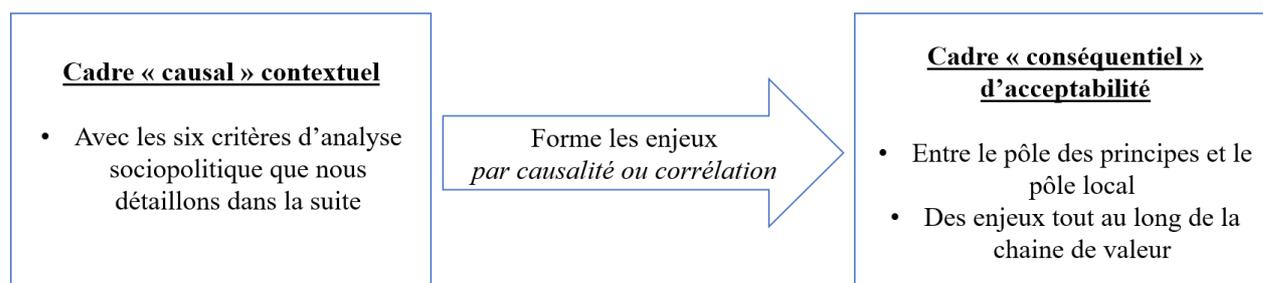


Figure 16 : Méthode d'analyse avec double cadre, Auclair 2023

I.1. Décrire le contexte d'intégration socio-politique d'une technologie

Comme le chapitre précédent nous l'a révélé, les ressorts de l'intégration territoriale du BECCS passent par l'étude d'un territoire, qui n'est pas seulement un espace géographique, mais plutôt un système énergétique dont les évolutions sont influencées par les « relations étroites qui existent entre les institutions, les individus qui les gouvernent, les mythes et les idéologies » (Hecht, 2016) ainsi que par l'ensemble des « pratiques et des règles qui les contraignent » (Geels, 2014). Nous avons donc voulu rendre compte dans cette grille des facteurs matériels, mais aussi des réseaux d'acteurs, des imaginaires et des règles politiques qui s'appliquent sur un territoire. De plus, cet espace géographique à la croisée des dynamiques technologiques, politiques et sociales devait être propice à l'émergence d'une innovation comme le BECCS, c'est-à-dire se structurer en un environnement de transition.

Waller et al. proposent une grille de six critères socio-politiques encadrant directement le développement des technologies à émissions négatives (Waller et al. 2020). Leur analyse de ces critères : 1) les incitations économiques, 2) la faisabilité de l'innovation, 3) l'engagement social, 4) la gouvernance, 5) la complexité et les incertitudes et 6) la justice et l'équité conduisent à envisager trois types de cadrages différents pour le déploiement du BECCS. Leurs résultats faisant grandement écho aux conclusions esquissées dans le chapitre 2 sur les facteurs contextuels, nous avons voulu adapter cette grille à notre étude pour lier entre eux, le contexte territorial et l'acceptabilité d'une innovation.

Le premier cadre de nature techno-économique appuyait l'emphase sur les critères 1) et 2) et placer au second plan les autres. La faisabilité technologique et les incitations économiques avaient la primauté sur des considérations plus politiques et sociales. Le deuxième cadre, à l'inverse négligeait les deux premiers critères pour se focaliser sur le 3) et le 4) où la question du support politique et des barrières sociales au déploiement devenait prioritaire. Le troisième cadre, enfin, insistait sur les deux derniers critères en reconnaissant que dans un contexte d'intégration complexe, les modalités de déploiement doivent être discutées afin d'insérer les technologies de la façon la plus responsable et juste.

Key feature	Techno-economic framing	Acceptability framing	Responsibility framing
Main emphasis	Can GGR be accomplished technically, environmentally and economically?	Can social and political barriers to acceptance of GGR be overcome?	Can GGR be responsibly developed in relation to alternative pathways for addressing climate change?
Most apparent feasibility dimensions	Technical, carbon reduction, environmental, economic	Political support, carbon accounting, market incentives, public acceptance	The relation between feasibility and questions of directionality, justice, responsibility
Relation to politics	Science is seen as separate from and informing politics in a linear fashion	The politics of GGR can be managed and contained through better procedures and policies	Any climate solutions (including GGR) are potentially political, with imagined social orders and futures that should be openly debated
Relation to society	Society is a second order concern—experts can know what's in the public interest	Society and individual public concerns can be definitively captured by sound social science methods and invited public engagements	Societal concerns and publics are diverse, multiple, multivalent, and can shape research and policy problem-framings
Mode of governance	Technocratic, expert-led	Top-down, decisionist	Polycentric, distributed, reflexive ¹⁰

Figure 17 : Principaux cadrages du BECCS et leurs caractéristiques dans la littérature (Waller et al, 2020)

Cette catégorisation des cadrages du BECCS selon des critères d'attention privilégiée nous rappelle la théorie des *cités* de Boltanski et Thévenot. Par exemple, le premier cadrage dit techno-économique s'insère plutôt facilement dans le concept de *cité industrielle* qui fait de la performance et de l'efficacité, les étalons du succès. Le deuxième cadrage dit d'acceptabilité pourrait correspondre même si c'est moins évident à *la cité domestique* dans laquelle les rapports de puissance restent hiérarchisés, mais en cherchant tout de même à respecter toutes les parties prenantes lors des opérations de déploiement. Enfin, le troisième cadre dit de responsabilité ressemble à *la cité civique* où les hiérarchies sont aplaties et les décisions sont prises à l'unanimité de tous dans un souci de justice collective.

Ce cadrage est pertinent pour notre étude, car il fait tout autant une place aux questions économiques et techniques qu'aux problématiques sur les valeurs et principes politiques qui président au choix d'une technologie. Il nous reste encore à mettre en lumière le rôle des acteurs ainsi que l'influence

politique de l'État pour avoir une grille exhaustive des facteurs contextuels. Sur ce point, les travaux d'Aurélien Evrard (Aykut et Evrard, 2018 ; Evrard, 2013) sont plus prometteurs.

Comparant les transitions énergétiques entre l'Allemagne et la France, Evrard parvient à intégrer les considérations techniques et économiques avec les configurations d'acteurs et les styles politiques propres de chaque pays. Sans oublier le rôle des représentations collectives, des visions et imaginaires liés à l'énergie, il ajoute encore la nature et l'influence des oppositions dans ces deux pays. Aykut et Evrard (2018) démontrent que les différences dans l'institutionnalisation de la notion de transition puisent leurs racines dans la nature des coalitions d'acteurs et des styles politiques.

Ce cadre qui parvient à lier ensemble des facteurs économiques, politiques, sociaux et cognitifs est le plus ajusté pour décrire l'intérieur des coulisses de l'intégration de notre innovation technoclimatique. Il a l'avantage d'expliquer exhaustivement une transition tout en prenant garde à ne pas adopter une posture normative et téléologique :

Nous proposons d'aborder l'innovation technique dans une perspective vaste et dynamique, en tant que système qui, tout en ayant des caractéristiques techniques et matérielles propres, prend malgré tout forme dans la configuration économique, politique et sociale dans laquelle il s'insère. [Evrard, 2018]

Dans le numéro spécial paru en 2018 intitulé *Changements énergétiques et transitions politiques* de la *Revue internationale de politique comparée*, Aurélien Evrard compare les cadres des transitions énergétiques entre la France et l'Allemagne en faisant appel à quatre critères endogènes au système politique observé qu'il développe plus précisément dans un ouvrage antérieur *Contre vents et marées, politiques des énergies renouvelables en Europe* (2013). Ce cadre de comparaison internationale des politiques publiques de l'énergie est appliqué directement à l'histoire récente de l'énergie électrique.

L'auteur démontre que le style politique du pays a autant sinon plus d'influence que la rationalité des solutions technologiques dans le choix des énergies renouvelables. « *On le voit, les choix énergétiques ne font pas appel qu'à des critères techniques et économiques. Ils reposent sur des valeurs et des représentations, ils sont influencés par les institutions et les acteurs politiques, par le contexte international et européen* » (Evrard, 2013). Par exemple, la France qui a une tradition politique prônant le jacobinisme, une certaine forme de dirigisme et de centralisation, a favorisé le déploiement de technologies facilement commandables depuis un centre de contrôle commun comme les énergies hydroélectriques et nucléaires. Ces choix pilotés par les corps techniques de l'État se sont développés grâce à l'association cognitive entre la technologie nucléaire et la grandeur d'une nation (Topçu, 2013). De plus, en technicisant ces choix énergétiques, le gouvernement

français a écarté les parlementaires pour agir plus librement et rapidement – à l'inverse de l'Allemagne ou du Danemark où ce sont les parlements qui ont fourni l'impulsion nécessaire à la transition. Néanmoins, l'auteur constate dans les trois pays une constante économique, qui produit un phénomène de concentration des EnRs. Ce phénomène, qui se retrouve, par ailleurs, autant dans les modalités de gouvernance que dans la construction des discours, demeure cohérent avec l'analyse de (Szarka, 2002) qui décline le récit de promotion des énergies en deux dimensions : une économique et l'autre environnementale.

Étudiant des pays qui ne sont pas inclus pas dans notre terrain : l'Allemagne, la France et le Danemark, l'auteur donne l'opportunité d'analyser librement les contextes politiques du Royaume-Uni et de la Suède. Néanmoins, nous n'utiliserons pas cette grille directement, car notre objectif n'est pas d'analyser de manière générale une politique nationale. L'étendue de notre objet de recherche ne se « limite » qu'au contexte plus précis d'émergence d'une technologie particulière.

En plus d'avoir une comparaison géographique entre les cas, nous mènerons une comparaison historique à l'intérieur de chaque cas. Les contextes actuels sont les héritiers des causes et des décisions prises dans le passé et une explication historique sera nécessaire pour décrire complètement une situation présente. Nous aborderons ces rétrospectives en termes de dépendance au sentier, car elles évitent explicitement la tentation d'une téléologie sous-jacente. La littérature sur la *dépendance au sentier* (Pierson, 2000) nous évite d'avoir une vision mécaniciste de l'histoire. Nous suivrons la méthode recommandée par Aykut et al. qui est, d'abord, d'analyser des points de bascule, de « (petits) moments historiques » qui confèrent un avantage initial à une option ou à une voie ; ensuite, d'identifier des mécanismes d'auto-consolidation et de reproduction par lesquels se construit la dépendance au sentier (Aykut et al, 2017). L'idée, normative, d'une « finalité », ou d'un point d'aboutissement des transformations sera exclue de notre étude. À l'inverse, nous accorderons une attention accrue accordée au travail politique et aux négociations menées par un éventail d'acteurs, que ce soit dans la contestation ou la consolidation des sentiers hérités.

Notre cadre contextuel, à la fois, géographique et temporel se composera donc des quatre dimensions que nous avons trouvées chez Evrard (2017). De plus, pour s'adapter précisément à notre technologie d'étude plutôt qu'à une transition nationale, nous l'enrichirons par deux autres dimensions découvertes dans notre état de l'art et caractéristiques du déploiement du BECCS.

I.2. Les quatre dimensions du cadre de science politique

Le premier critère correspond à **la matérialité**, c'est-à-dire à la fois le bouquet énergétique existant, les ressources naturelles dont dispose le pays et les infrastructures sur lesquelles il peut s'appuyer pour réaliser la transition. Par ressources naturelles, nous entendons évidemment la disponibilité des substances énergétiques telles que le charbon ou la biomasse, mais également celle de facteurs plus géographiques ou géologiques comme la présence de réservoirs potentiels de stockage ou la proximité d'accès à un terminal de transport maritime.

Pour plus de précision, nous incluons dans cette dimension, d'abord, les infrastructures de transport pour l'approvisionnement en biomasse (les ports de marchandise, les voies ferrées, les routes) ou pour l'expédition du gaz carbonique (les pipelines et les ports méthaniers). Il n'existe pas encore d'unité de captage industriel de CO₂, mais nous comptons de nombreuses sources d'émissions. Au centre de notre étude, nous trouverons les centrales de production d'électricité et/ou de chaleur à biomasse, mais nous tiendrons aussi compte d'autres industries émettrices dans le voisinage de nos centrales qui peuvent faciliter le déploiement d'une infrastructure de transport de dioxyde de carbone en mutualisant leurs efforts. La présence ou l'absence de zones de stockage géologiques avérées ou potentielles à proximité des lieux d'émissions de carbone seront également ajoutées à notre étude. Enfin, les disponibilités de ressources déterminent souvent les préférences des gouvernements d'opter pour un type d'énergie plutôt qu'un autre. Nous intégrerons les forêts exploitables, les gisements de charbon ou d'hydrocarbures, les fermes éoliennes ou les barrages hydroélectriques.

La deuxième dimension vise **les configurations d'acteurs** qui s'engagent dans la transition nationale et surtout dans l'émergence du BECCS. Le profil et la réputation des producteurs et des gestionnaires du réseau ainsi que leurs relations avec l'État et les différentes administrations jouent un rôle déterminant. La durée d'existence, l'étendue des parts de marché, le type de client et la participation dans le mix énergétique des entreprises nationales comme leurs capitalisations boursières ou la façon dont les médias en parlent nous serviront d'étalons de mesure de l'influence de celles-ci dans la transition énergétique du pays. Les acteurs industriels ne sont toutefois pas les seuls à agir, même s'ils sont souvent parmi les premiers concernés. D'autres types d'acteurs interviennent aussi. Nos lectures de sociologie de la traduction (Callon, 1986 ; Akrich, 2003 ; Latour, 1992) et nos observations de terrains nous ont permis d'identifier quatre grands types d'acteurs impliqués.

Aux avant-postes de la R&D, les acteurs académiques sont essentiels au développement de l'innovation tant par leurs réflexions sur les améliorations techniques que dans leur rôle de conseil

auprès des administrations pour le choix des politiques publiques. Les acteurs administratifs, justement, remplissent des missions importantes, que ce soit en proposant des régulations particulières ou des schémas de financement au corps législatif. Les acteurs administratifs, industriels et académiques sont le *triumvirat* de la configuration des acteurs qui gravitent autour du BECCS. Dans nos cas d'étude, leur collaboration est au centre du développement des projets. Un quatrième et dernier type d'acteur intervient encore. Son intervention moins centrale que celle des précédents a quand même un pouvoir d'inclinaison plus ou moins fort sur la trajectoire d'innovation. Les acteurs associatifs peuvent être des rassemblements d'acteurs économiques intéressés par le BECCS ou des associations environnementales mondiales, nationales ou locales. Certaines conseillent directement les gouvernements nationaux comme la CCSA au Royaume-Uni, d'autres sont consultées par la Commission européenne telles que Fern et d'autres encore organisent des coups d'éclat médiatiques pour attirer l'attention sur les impacts de cette technologie comme BiofuelWatch. Leurs actions, leurs positions et leurs influences sont très diverses, mais leurs activités diffusent des connaissances sur le BECCS. Elles prennent ainsi part à la lutte pour sa définition.

La troisième dimension d'analyse est celle du **style politique** du pays. Pour illustrer ce concept, l'auteur prend l'exemple du « particularisme français »¹⁶ (Finon, 1991).

« Sur le plan institutionnel, la France se caractérise par le rôle de son administration centrale. Kitschelt (1986) classe la France parmi les systèmes politiques fermés et puissants, en se fondant sur l'observation d'un pouvoir exécutif dominant, d'un accès très restreint au processus décisionnel et d'une très forte capacité de l'État à s'imposer pendant la phase de mise en œuvre de ses décisions » (Evrard, 2017).

La France, sans surprise, est marquée par un style politique très centralisé et relativement autoritaire. D'autres pays agissent différemment, mais cette dimension est majeure lorsqu'il s'agit de déployer une innovation aussi importante que peut l'être le BECCS. Quel que soit l'État concerné, celui-ci ne restera pas indifférent à son déploiement et son style politique a un impact majeur d'abord sur son efficacité et ensuite sur l'acceptabilité sociale de la technologie. En comparant la France, très jacobine à l'Allemagne qui donne plus de place aux petits partis dans la gestion des affaires, Aurélien Evrard s'aperçoit que la transition se déroule différemment. Le style politique traduit aussi les modalités de prise de décision. Apparemment en matière de transition écologique, les décisions *top-down* semblent plus controversées que les décisions *bottom-up*. Par exemple, tous facteurs

¹⁶ Dominique Finon, « Les États et le nucléaire civil depuis 1955 », art. cité, p. 63. 1991

techniques égaux par ailleurs, une décision prise à l'issue d'un débat multi-parties pourrait avoir une influence positive sur l'acceptabilité du BECCS à l'inverse d'une décision autoritaire.

Décrire le style politique d'un pays en quelques phrases paraît très ambitieux alors que les dynamiques internes et externes aux organes du pouvoir sont multiples et agissent sur des intervalles de temps très variables. Ces actions publiques peuvent encore varier selon les dirigeants ou les situations auxquelles est confronté le pays (guerres, pandémies, paix, tensions diplomatiques, etc.). Dans ces conditions, nous ne prétendons pas arriver à un portrait exhaustif du style politique, d'abord parce que cela semble compliqué, voire impossible, et ensuite parce que nous n'en avons pas véritablement besoin. En effet, l'objet de notre étude porte sur l'intégration d'une technologie particulière dans un contexte de transition spécifique. Nous restreindrons par conséquent notre description aux moyens dont use le gouvernement pour le développement de produits énergétiques et d'innovation technologique comme la forme des subventions, les communications officielles ou les régimes de taxations. Nous nous appuyerons sur des chercheurs de référence dans ce domaine ainsi que sur les explications des répondants à nos enquêtes. Les études historiques de nos terrains nous fourniront des données extrapolables. Ce sera particulièrement le cas pour l'usine de Drax qui existe depuis presque quarante ans. En analysant les méthodes d'intervention du gouvernement britannique dans la vie de cette centrale, nous en déduisons un style qui sera très probablement semblable à celui avec lequel la conversion au BECCS sera traitée. Enfin, les entretiens avec les acteurs locaux impliqués dans le projet et interagissant avec les organes de l'État ou pour ceux-ci nous donneront encore de précieuses informations sur le style politique.

Enfin, **les représentations collectives** occupent la quatrième dimension de cette grille. Par-là, nous entendons l'ensemble des images cognitives sous-jacentes à l'organisation d'un système énergétique d'un pays, c'est-à-dire la représentation qu'a un groupe d'acteurs de ce que *doit* être l'énergie, de ses sources, de ses usages et de sa production. Dans son article de 2017, Evrard cite en exemple, la vision des élites économiques du XIX^e siècle pour lesquelles l'industrie charbonnière en Grande-Bretagne est perçue comme essentiel au développement économique et industriel de l'Empire britannique. Chez plusieurs groupes dirigeants d'États-nations se retrouvent associées les notions de richesse ou de puissance avec celle d'indépendance et d'abondance énergétiques. Loin d'être seulement une donnée matérielle, une quantité de MWh produite, l'énergie devient un enjeu de souveraineté nationale et de diplomatie internationale. Les choix en matière de source et de dimension des systèmes de production énergétiques sont fortement empreints d'un imaginaire national.

Bien que la question des valeurs politiques soit sous-jacente à tous ces critères, ce dernier les fait apparaître avec une plus grande acuité. De fait, dès que nous ne parlons plus de la réalité, mais de

ce qu'elle *devrait* être par rapport à ce que nous pensons qu'elle a été ou ce qu'elle sera, nous faisons appel à une vision. Même si celle-ci est fondée sur des faits, elle repose essentiellement sur un imaginaire qui lui-même se structure autour de valeurs que les acteurs souhaiteraient prédominantes dans le futur. Par exemple, des acteurs imaginant une société hiérarchique n'auront pas de difficulté à promouvoir un système énergétique centralisé dont les commandes reposeront entre les mains d'une autorité supérieure. Alors que d'autres acteurs préférant une société plus horizontale agiront en faveur d'une distribution des systèmes énergétiques de manière à ce que le contrôle de ceux-ci soit aussi réparti entre plusieurs autorités. Ainsi nous trouverons principalement les données nécessaires à la compréhension des représentations collectives dans les discours et communications des acteurs. Les entretiens et dans une moindre mesure, les revues de presse seront les moyens privilégiés pour recueillir ces visions.

Les quatre critères majeurs de notre grille d'analyse ainsi établis, il nous reste encore à en ajouter deux autres mineures pour adapter le cadre d'Evrard à l'étude spécifique du BECCS.

Tableau 3 : Les quatre critères de comparaison d'une transition énergétique nationale (Evrard, 2018)

<i>Matérialité</i>	<i>Configurations d'acteurs</i>	<i>Style politique</i>	<i>Représentations collectives</i>
Mix énergétique, infrastructures existantes (centrales de production d'énergie, voies de transport, cluster industriel émetteur de carbone), ressources naturelles, zones de stockage géologique	Monopole, oligopole, interactions entre les producteurs, les régulateurs, les gestionnaires du réseau, entreprises énergétiques ou d'exploitation de la biomasse, administration	Autoritaire ou démocratique, centralisé ou décentralisé, pouvoirs à quelques grands partis ou représentations multiples, subventions en soutien d'un marché (libéral) ou en création d'un marché	Image de l'énergie – technique, centralisée, décentralisée, nécessaire pour l'indépendance et/ou la grandeur d'une nation. Vision partagée de ce que doit être l'énergie au sein d'un groupe.

I.3. L'internalisation des facteurs hors-frontières

En plus de ces quatre axes généraux qui sont propres à un pays, Evrard reconnaît la contribution de facteurs exogènes dans la naissance des transitions nationales comme par exemple « une succession de crises environnementales largement médiatisées – accident nucléaire de *Three Mile Island* aux États-Unis, pluies acides, trou d'ozone, puis changement climatique – [qui] contribue à structurer un large mouvement écologiste [remettant] en cause le modèle de croissance industrielle sur lequel s'était construite l'Allemagne de l'Ouest après la guerre » (Evrard, 2017). Ces influences extérieures s'appliquent plus particulièrement sur le BECCS que sur d'autres innovations énergétiques pour deux raisons.

En premier lieu, le BECCS répond plus à un besoin global que local. Ce n'est pas une innovation qui a par exemple pour objectif d'électrifier une ville, mais de décarboner l'atmosphère de la planète. Son rayon d'action est donc global, les habitants autour de la centrale bénéficieront autant de la décarbonation que ceux qui vivent de l'autre côté du globe. Ensuite, parce que la qualité de l'atmosphère, et particulièrement le réchauffement de celle-ci, est considérée depuis plusieurs années comme un problème partagé entre toutes les nations. Le BECCS est une solution promue par les hautes instances politiques comme le GIEC ou l'Agence Internationale de l'Énergie. Ainsi un des traits saillants de cette innovation est de répondre à un besoin global, d'être souhaitée par des autorités globales, mais se construisant localement. C'est pourquoi les influences extérieures qui jouent un rôle prépondérant dans le déploiement du BECCS ne sont pas négligeables. Nous avons choisi de les faire apparaître dans notre cadre d'analyse à travers une catégorie spécialement dédiée : **l'internalisation des influences extérieures.**

Toutefois, comme le laisse suggérer le nom de notre catégorie, les influences hors du pays ne s'appliquent pas directement sans médiation dans le pays. Nous le voyons bien avec les médias, les événements internationaux trouvent un écho dans le pays, car ils sont *internalisés* par des acteurs ou des institutions nationales. Leur influence vient de la « traduction » qu'en font des acteurs à l'intérieur. Pour l'actualité, c'est évidemment les médias nationaux qui se saisissent des sujets pour ensuite les cadrer suivant les règles de leur pays et les habitudes de leurs audiences. Les documents légaux internationaux tels que les directives européennes, les traités économiques internationaux, ont, quant à eux, de l'impact dans le pays lorsqu'ils sont intégrés dans des lois ou des stratégies nationales par le corps législatif.

Pour les sujets scientifiques, ce sont plutôt les intellectuels nationaux qui font référence aux recherches de leurs homologues étrangers. Reprenant l'exemple de la naissance de la transition allemande, Aykut et Evrard (2017) mentionnent le rôle prépondérant de trois figures intellectuelles

allemandes pour relayer le diagnostic établi par le Club de Rome sur la crise environnementale. Un autre exemple, plus en lien avec notre travail, se passe cette fois en Angleterre, où le rapport national du Climate Change Committee de 2019 reprend la conclusion du rapport du GIEC de 2015 sur la nécessité du déploiement des technologies à émissions négatives dans l'économie britannique. Ce rapport émis par un organisme national a eu un impact plus direct sur la stratégie nationale que celui du GIEC ou l'IEA comme le confirme une responsable du BGS (résultat interview Auclair, 2022).

La façon dont les influences extérieures sont internalisées dépend évidemment des acteurs qui s'en saisissent, mais également des engagements législatifs, économiques et diplomatiques qui les contraignent. Il en découle que nous aurions pu choisir d'en faire une sous-dimension de la *configuration des acteurs*, mais pour mieux évaluer les particularités du BECCS, nous avons préféré la séparer. En effet, si ce sont les mêmes instances internationales comme le GIEC qui stimulent un développement global, les cadres d'internalisation eux diffèrent grandement entre nos deux cas d'étude. Des conséquences sur le déploiement sont donc visibles d'un pays à l'autre. Pour illustrer, nous citons le cas des choix d'instrument d'action publique. L'Angleterre qui n'est plus soumise au cadre législatif européen peut adopter des politiques de soutien au BECCS différentes de celles de la Suède, qui est membre de l'Union.

Pour repérer les processus de cette internalisation, nous retiendrons des points temporels concrets tels que des publications ou des discours répondant à deux conditions strictes, une sur la forme et une autre sur le fond. D'abord, la forme de ces événements devra avoir un caractère national, c'est-à-dire d'une part, qu'ils seront émis ou formulés par des acteurs ou des organismes appartenant directement et sans ambiguïté au pays étudié et d'autre part, ils devront s'adresser exclusivement à des acteurs internes au pays. La forme ainsi définie jouera le rôle de *filtre internalisant* du fond qui lui se composera d'éléments extérieurs. Notre deuxième condition est donc que le contenu (ou le fond) de l'évènement, s'inspire, réutilise ou cite en grande partie une autre publication ou un discours émis par une instance globale. Cela ajoute, par conséquent, une exigence d'antériorité de l'évènement global sur l'évènement local à cette seconde condition. Par exemple, le cinquième rapport du GIEC publié en 2014 a été une des sources principales des scientifiques du Committee on Climate Change (ou CCC), l'organe public d'information et d'orientation du parlement britannique sur le changement climatique, pour la publication de leur rapport de 2019 : « Reducing UK Emissions – Progress report to Parliament » qui a guidé la stratégie nationale de déploiement du BECCS. Cet exemple satisfaisant nos deux conditions sera donc retenu comme un élément d'internalisation des influences extérieures sur la politique britannique.

I.4. Un critère essentiel : la forme des subventions publiques

Ajoutons encore un ultime critère à notre comparaison contextuelle, *la forme de la politique économique de soutien au développement du BECCS*. Il nous semble important de détacher ce facteur du style politique pour deux raisons. La première étant l'importance que revêt ce soutien pour le développement de la technologie. Le BECCS demande beaucoup de capitaux autant pour permettre l'investissement initial, tel que la construction des infrastructures de captage et de transport que pour assurer la continuité des opérations, comme la régénération et le renouvellement des solvants de captage. L'ordre de grandeur de ces coûts pour nos deux cas d'étude dépasse le milliard de dollars, sans qu'il n'y ait de bénéfice assuré ni dans leur durée ni dans leur montant. Dans ces conditions, aucun acteur privé n'acceptera de s'engager sans le concours généreux de la puissance publique.

Or le soutien de l'État doit s'accommoder d'un budget national limité, d'une distribution débattue des fonds et de réglementations particulières. À partir de là, nous savons que les modalités comme les montants sont au cœur des négociations entre acteurs privés et publics. Les compromis obtenus sont la clef de voûte du développement du BECCS comme en témoignent les nombreux articles de presse rappelant la mise en pause des travaux dans l'attente d'une décision du gouvernement¹⁷ ou les articles scientifiques qui insistent tant sur la nécessité d'un soutien politique fort pour cette technologie (Wähling, 2023 ; Zetterberg, 2021).

Une deuxième raison vient directement de notre objet d'étude qui reste l'acceptabilité sociale du BECCS. Bellamy (2019) considère que le degré d'acceptation d'une technologie est « inextricablement lié » à la forme de politique publique qui sert son développement. Bellamy décrit trois types de politiques de soutien : 1) une politique coercitive dite *du bâton* qui se traduit principalement par l'application de taxes ou de normes ; 2) une politique supportive dite de *la carotte* qui élabore des incitations financières et distribue des subventions ; 3) une politique persuasive dite *du sermon* qui se fonde sur une politique du *lobbying* ou des certifications non-contraignantes. De cette typologie, l'auteur démontre à travers un sondage que le soutien du public pour le BECCS en fonction de la politique appliquée. Un BECCS déployé nationalement grâce à une politique supportive rencontre la plus faible acceptabilité alors que celui qui se déploie dans une politique coercitive reçoit les faveurs du public. Une des raisons pouvant expliquer cette différence proviendrait de certains préjugés négatifs du public sur les conflits d'usage et la pression sur les

¹⁷ Consulté sur le site de Reuters en 2023 : <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/britains-drax-pauses-biomass-carbon-capture-plans-urges-clarity-government-2023-03-21/>

ressources naturelles que le BECCS risque d'engendrer. Un déploiement bien encadré par des normes sur l'exploitation des ressources serait alors rassurant.

Cette typologie comme nous l'avons vu au chapitre précédent concorde avec celle, plus riche, de Lascoumes et Le Galès (2007). Ainsi reconnaissant l'importance des IAP dans l'acceptabilité sociale du BECCS grâce à Bellamy (2019), nous observerons cette variable à travers la grille de Lascoumes et Le Galès (2007) reconnaissant surtout l'intérêt, à la lumière des autres facteurs, d'évaluer les types de rapport et de légitimité politique mis en valeur dans le choix des IAPs.

Ajoutons encore que dans la réalité, les politiques publiques pour le BECCS n'appartiennent pas à un seul type d'IAPs. Elles sont évidemment multiples et mêlent plusieurs types. L'application de normes sur l'usage de la biomasse n'empêche pas la distribution de subventions pour l'usage de cette biomasse et vice-versa. Toutefois, ce critère d'évaluation est déterminant, car il émane d'un style politique particulier et est un vecteur efficace de déploiement technologique.

Il s'agit donc d'un point saillant de la formation de l'acceptabilité que nous avons bien repéré dans le chapitre précédent et que nous mettrons en lumière dans notre étude. Cependant, les IAP sur nos terrains ne seront pas suffisamment différents pour que leur comparaison révèle un déterminant majeur de l'acceptabilité. En effet, les instruments quoiqu'ils soient variés sont tous de type supportif ou incitatif. Nous n'avons pas repéré d'instruments coercitifs ou contraignants pour « forcer » le déploiement du BECCS.

Tableau 4 : Les deux critères supplémentaires au contexte d'intégration du BECCS, Auclair 2023

<i>Forme économique de la politique de soutien</i>	<i>Internalisation des facteurs exogènes</i>
Le choix des instruments d'actions publiques pour le financement de l'innovation BECCS dépend de nombreuses variables dont le type de rapport politique, l'objectif recherché, les ressources disponibles et le type de légitimité.	Les incitations au développement du BECCS sont portées par des instances mondiales, mais elles sont traduites par les acteurs nationaux avant de s'appliquer dans un pays. La manière dont elles sont traduites influence l'intégration territoriale.

Au final, le premier cadre d'analyse du contexte d'intégration et ses six axes de comparaison sont : 1) la matérialité ; 2) la configuration d'acteurs ; 3) l'internalisation des contraintes exogènes ; 4) le style politique ; 5) la forme de la politique de soutien au BECCS ; 6) les représentations collectives.

Tableau 5 : première grille d'analyse du contexte, Auclair 2023

Contexte socio-technique d'intégration du BECCS					
Matérialité	Configuration d'acteurs	Style politique	Représentations collectives	Forme du soutien public	Internalisation des facteurs exogènes

Ce cadre rassemble tous les éléments contextuels qui ont une influence prédominante dans l'évaluation de l'acceptabilité sociale du BECCS, il est donc exhaustif. De plus, les catégories ne se chevauchent pas, par exemple, les éléments que nous intégrerons à *la matérialité* ne pourront pas non plus se trouver dans la partie sur *les formes du soutien public*. Les catégories sont par conséquent mutuellement exclusives. Que notre cadre soit mutuellement exclusif et collectivement exhaustif était une de nos exigences pour que le travail de comparaison soit plus facile et plus juste.

II. Nos objets d'étude pour l'application du cadre

Maintenant que notre cadre contextuel est bien établi et que nous savons, au regard des données issues de la littérature, que l'ensemble des problématiques d'acceptabilité sociale est rendu plus visible par le développement de projets concrets, nous partons à la recherche d'un ou plusieurs projets BECCS. Une de notre première déconvenue fut de ne pas trouver de projet BECCS réellement conçu dans le but d'être une solution au réchauffement climatique. C'est pourquoi nous sommes contraints de restreindre notre étude à des projets BECCS en cours de développement.

Quand nous avons commencé cette étude en 2021, les seules usines BECCS d'envergure industrielle se trouvaient aux États-Unis où elles étaient couplées avec des activités de récupération assistée d'hydrocarbures (EOR – Enhanced Oil Recovery). La raison principale de ce couplage est d'améliorer grandement le bilan économique à la fois du BECCS et de l'exploitation d'hydrocarbures, mais le bémol est qu'il ne produit pas d'émissions négatives. Nous avons alors élargi nos recherches aux projets en cours de développement.

Nous traversons donc l'Atlantique pour rejoindre l'Europe, où aucun projet BECCS n'est encore développé, mais plusieurs sont en développement à des étapes variées. Comme le notent Upham et Roberts (2011), les opinions publiques des pays européens sur les technologies de captage et de stockage du carbone sont marquées par un grand nombre de points communs avec peu de différences. Le continent européen peut donc être considéré comme une région homogène de ce point de vue. De plus, les ambitions européennes correspondent bien plus à notre périmètre de recherche, car la technologie a sur ce continent été pensée exclusivement comme une solution au réchauffement climatique ; la permanence du stockage du carbone devient un paramètre essentiel.

Ce type de configuration est aussi une des conditions fixées par les programmes de financements de la Commission européenne tels que NER300 ou Horizon 2024.

Malgré ces subventions, le statut du BECCS dans les stratégies de transition nationale en 2021 est encore peu clair. Le cadrage politique est encore en discussion et les instruments d'action publique nationaux pour le déployer ne sont pas encore choisis (Tamme, 2021). De plus, les tentatives échouées du déploiement du CCS dans les années 2010 rendent frileux les industriels à entreprendre la construction du BECCS. Concrètement, il n'existe qu'une poignée d'intentions, principalement en Europe du Nord telles que Longship en Norvège, KVV8 en Suède, ROAD aux Pays-Bas ou encore Drax et Acorn au Royaume-Uni.

Nous sommes encore bien loin d'un déploiement à la hauteur des projections du GIEC. Parmi tous les pays d'Europe, nous remarquons que ceux d'Europe du Nord sont les plus en avance pour concrétiser cette innovation. Une des raisons de cette disparité régionale se trouve dans la proximité de larges zones de stockage de carbone offshore en Mer du Nord. Pour les pays qui la bordent : le Danemark, les Pays-Bas, la Norvège et le Royaume-Uni, les gisements déplétés de la Mer du Nord apparaissent comme un lieu sûr, facile d'accès, connu et éloigné de tout riverain. De plus, ces pays sont souvent dotés d'une filière bien développée d'exploitation d'hydrocarbures en mesure d'assurer le transport et le stockage du CO₂ avec de grandes compagnies nationales comme BP au Royaume-Uni, Shell aux Pays-Bas, Ørsted au Danemark et Equinor en Norvège. Ces gouvernements cherchent donc à se positionner en champion européen de la gestion du carbone en prévision de l'émergence d'un marché régional¹⁸. Certains pays comme le Danemark ou la Norvège avec Northern Lights souhaitent même devenir des hubs de transport et de stockage du carbone pour mettre à disposition des solutions de management du carbone aux pays d'Europe continentale qui ne jouissent pas d'un accès direct à la Mer du Nord.

¹⁸ Consulté sur le site de Biofuels USA en 2023 : <https://advancedbiofuelsusa.info/us-carbon-capture-incentives-leave-eu-lagging-behind-biofuel-makers-warn>

II.1. La comparaison, une méthode d'analyse pertinente avec deux cas

Nous nous tournons donc vers le nord de l'Europe pour sélectionner nos terrains d'étude. Cette zone géographique marquée par certaines ressemblances politiques et culturelles avec des particularités nationales significatives nous ont rapidement donné l'idée de réaliser une comparaison des modes de développement entre ces pays.

La comparaison, en effet, est une méthode d'analyse répandue dans les sciences humaines et sociales qui fait l'objet de nombreuses interrogations dans ses moyens d'applications depuis Emile Durkheim jusqu'à aujourd'hui. Grâce à l'établissement de nos grilles d'analyse communément appliquées à plusieurs cas, nous nous gardons d'une « fausse comparaison », c'est-à-dire de l'analyse d'un seul cas étranger ou de la juxtaposition de monographies. Avec des critères communs et des cas différents, nous évitons de « placer côte à côte une pomme et une poire » (Sartori, 1970). Pour bien comparer, il nous faut donc relever des différences et des points communs en fonction de critères préalablement définis et orientant le regard du chercheur. Sans admettre aucune évidence, la comparaison est avant tout le résultat d'une construction dont les fondations sont les grilles d'analyse communes.

Se distinguant de l'analogie, qui est une mise en parallèle par abstraction, la comparaison établit un rapport qui existe entre les objets. Elle n'est donc pas orientée vers une recherche des ressemblances, mais elle met en regard tant des ressemblances que des différences. Cette mise en regard peut s'effectuer à travers le temps ou l'espace comme ce sera le cas pour notre étude qui rassemblera des éléments en plusieurs lieux et à divers moments historiques (Vigour, 2005).

La comparaison est une méthode séduisante, car elle est objective et peut s'utiliser dans une multitude de cas. Toutefois, pour donner des résultats véritablement pertinents, il est nécessaire de respecter certaines règles en plus de l'utilisation correcte des concepts et des échelles d'abstraction. Morlino (2013) identifie quatre écueils à éviter. Le premier est celui qu'il nomme le problème de Galton qui correspond à la difficulté d'expliquer un phénomène de manière isolée en raison de l'influence croissante de phénomènes de diffusion, d'imitation et d'importation dans un monde toujours plus interdépendant. De cette difficulté, nous nous prémunissons en relevant une partie de ces processus grâce à la catégorie d'internalisation des influences extérieures.

Le deuxième provient des processus d'apprentissages qui sont difficiles à saisir, car ils sont issus de facteurs culturels empiriquement insaisissables. Pour éviter cet écueil, nous prenons en compte le temps long en analysant les évolutions sur une profondeur historique d'une cinquantaine d'années.

La troisième limite provient de l'incommensurabilité des concepts empiriques. Ces notions sont ainsi si profondément et inextricablement liées au contexte et à l'objet pour lequel ils sont élaborés qu'il est impossible de les exporter. La réponse à cette objection provient d'un bon usage de notre échelle d'abstraction qui a déjà été éprouvée dans d'autres études.

Enfin, le quatrième problème de la comparaison est posé par la causalité conjoncturelle, c'est-à-dire le fait qu'un même phénomène ait des causes différentes. Étant plus à la recherche de corrélation que de causes, notre comparaison devrait être à l'abri de cette difficulté.

Une fois ces difficultés écartées, nous sommes sûrs que notre comparaison résolument qualitative contribuera à une compréhension plus fine des contextes d'intégration territoriale du BECCS et des controverses et problématiques auxquelles elle donne lieu. Conformément à la fonction de classification de cette démarche (Aykut et al, 2017), il s'agit d'identifier des points de convergence et de divergence entre cas nationaux autour de plusieurs dimensions. En isolant les invariants et éclairant les variables significatives, la comparaison rend plus aisée l'organisation des critères selon leur force d'influence sur le déploiement de la technologie à émissions négatives. Afin de comparer avec justesse, nous avons veillé à ce que nos cas d'étude se ressemblent à travers quelques points communs sans être identiques grâce à plusieurs différences. Nous détaillons plus bas les critères généraux qui nous ont amenés à sélectionner nos pays d'études. Dans le dernier chapitre, nous expliciterons la comparaison avec les grilles d'analyse pour le déploiement des projets BECCS sur le contexte et l'acceptabilité.

Réduisant notre périmètre de recherche à l'Europe du Nord qui selon la définition de l'ONU rassemble les trois pays baltes, la Scandinavie élargie (Norvège, Suède, Finlande, Danemark, Islande) et les îles britanniques, nous analysons avec attention les médias de ces pays ainsi que la littérature scientifique nationale sur le BECCS pour trouver des projets significatifs. Au début de l'année 2021, quand commence notre étude, plusieurs entreprises témoignent de leur volonté de développer des infrastructures CCS, mais seulement deux proposent de l'associer avec des centrales de production de bioénergie : la centrale électrique de Drax au Royaume-Uni et la centrale à cogénération KVV8 en Suède. Nous détaillerons un peu plus loin les particularités de ces deux chantiers, mais avant nous souhaitons nous assurer que les pays qui les abritent sont adaptés à l'exercice de la comparaison. Une comparaison requiert au moins deux éléments différents, mais ne limite pas le nombre d'éléments à comparer, ainsi nous aurions très bien pu choisir plus que deux projets. Toutefois, nous avons jugé que ces deux cas incarnaient significativement deux modèles divergents de développement du BECCS et suffisaient donc à donner une vision étendue de ce que pouvait être l'intégration territoriale de cette technologie.

Mais revenons à l'Angleterre et à la Suède, qui en plus d'une relative proximité géographique (Londres et Stockholm sont séparés par 1455 km à vol d'oiseau), partagent certains traits communs relatifs comme un climat océanique dégradé, au moins pour le sud de la Suède, et une histoire commune. Sans remonter jusqu'aux invasions vikings du VIII^{ème} siècle, l'Angleterre d'aujourd'hui a été en partie façonnée par les premiers habitants de la Suède. La ville de York, par exemple, à une trentaine de kilomètres de la centrale de Drax fut l'une des grandes colonies scandinaves de Grande-Bretagne. Les échanges culturels et migratoires sont restés importants au cours des siècles avec une prépondérance de l'influence britannique en Suède principalement dus au fait que l'anglais est une langue très bien connue et couramment parlée par la majorité des Suédois.

Tableau 6 : Points communs généraux entre l'Angleterre et la Suède

Géographie	Climat	Langue	Histoire
Europe du Nord	Océanique dégradé	L'anglais est très bien connu par les Suédois	Nombreuses vagues migratoires suédoises en Angleterre

Au-delà des concordances, des divergences générales existent entre les deux nations. D'abord en termes de démographique, la Suède compte 10,5 millions d'habitants principalement dans sa moitié sud alors que le Royaume-Uni abrite 67 millions de citoyens relativement mieux répartis sur son territoire même si l'Angleterre, la moitié sud de la Grande-Bretagne est aussi plus densément peuplée que l'Écosse au nord. La population britannique presque sept fois plus nombreuse implique des besoins énergétiques bien supérieurs à ceux de la Suède. En plus d'une gestion politique différente induite par cet écart démographique, l'approvisionnement énergétique doit aussi changer d'échelle.

La géographie de ces pays ainsi que leurs ressources énergétiques nationales induisent des possibilités et un rapport à l'énergie différent. La Suède bénéficie dans sa partie septentrionale d'immenses réserves forestières (31 millions d'hectares soit 70 % de son territoire) et de larges massifs montagneux d'où elle peut tirer de considérables quantités de biomasse et d'hydroélectricité. La Grande-Bretagne n'a que 2,8 millions d'hectares de forêts soit 10 % de son territoire qui par ailleurs est relativement plat sans massif montagneux significatif. Dans ces conditions, les disponibilités de biomasse et d'hydroélectricité sont largement insuffisantes au besoin. Mais la Grande-Bretagne trouve ses ressources dans des gisements de charbon sur son sol

et de gaz et de pétrole dans ses eaux territoriales. Comme on peut l'imaginer, cette matérialité différente des ressources énergétiques donne lieu à des choix de développement industriel distincts. La Grande-Bretagne a stimulé la création d'un tissu industriel pour l'exploitation des hydrocarbures avec des champions internationaux comme BP pour le gaz et le pétrole et BHP pour le charbon. La Suède s'est concentrée sur les filières de production d'électricité et de tous types de bois avec par exemple, Vattenfall et Stora Enso, plus gros producteur mondial de papier.

Du point de vue politique, même si les deux pays sont encore des monarchies dans lesquelles les têtes couronnées n'ont plus qu'un rôle symbolique, des divergences fondamentales existent. Le régime suédois est de type parlementaire alors que celui du Royaume-Uni est de type constitutionnel (Garett, 1993). C'est-à-dire que le style politique de la Suède favorise le multipartisme et recherche la légitimité de ses décisions dans le consensus. À l'inverse, la monarchie britannique place le pouvoir aux mains d'un Premier ministre et de son gouvernement dont le parti, souvent majoritaire au parlement, trouve sa légitimité dans cette grande représentation électorale. C'est pourquoi le style politique anglais peut être qualifié de monocéphale avec une longue chaîne de commande. Nous approfondirons ces nombreuses particularités nationales dans les chapitres suivants.

Ces nombreuses divergences sont un atout pour notre démarche comparative qui se fonde sur une étude contextuelle. Pour nous assurer de tirer des conclusions pertinentes, il fallait que notre comparaison se fasse entre des contextes plutôt semblables, mais suffisamment différents. La Suède et l'Angleterre sont à cet égard des terrains d'étude privilégiés. D'autant que si les contextes politiques, géographiques et matériels sont distincts, les stratégies climatiques des deux pays placent toutes deux la production d'émissions négatives avec le BECCS ou le CCS parmi les priorités nationales.

Tableau 7 : Divergences générales entre la Suède et le Royaume-Uni

	Démographie (en habitant)	Ressources principales	Industries principales	Politique
Suède	10,5 millions	Hydroélectricité et biomasse	Filière bois (mobilier, papeterie)	Régime parlementaire (multipartisme)
Royaume- Uni	67 millions	Charbon, gaz et pétrole	Industrie lourde (sidérurgie, chimie parapétrolière, motorisation)	Régime constitutionnel (1 ^{er} ministre à la tête d'une chaîne de commande)

Les gouvernements travaillent depuis quelques années à concevoir des instruments d'action publique pour financer spécifiquement la production d'émissions négatives. Avec l'arrivée de ces subventions, tout un écosystème industriel avec de la R&D, des projets à grande échelle, des start-ups et des réseaux d'entrepreneurs prennent progressivement forme. Les projets que nous avons sélectionnés sont apparus être au centre de ce phénomène.

II.2. Une comparaison entre 2 cas d'étude

Nous avons donc effectué une première sélection de ses projets suivant des critères de visibilité médiatique, de soutien politique, de niveau d'avancement, de capacité de production et de probabilité d'achèvement pour nous assurer de leur « centralité ». D'une certaine manière, nous avons cherché les « locomotives nationales » du BECCS. Les porteurs de projet dans ces deux pays revendiquent cette position de pionnier dans le développement de l'innovation et espèrent en tirer un avantage commercial en vendant leurs compétences.

En Suède, c'est l'adaptation au CCS de la centrale à bioénergie KVV8 en plein cœur de Stockholm, qui était de loin le projet le plus visible médiatiquement et le plus soutenu politiquement notamment grâce à l'obtention d'un important financement de la Commission européenne. Fonctionnant déjà complètement à la biomasse, elle fournit principalement de la chaleur aux Stockholmsois. Sa capacité de production d'émissions négatives est estimée à 0,8 MTCO₂/an. C'est un des programmes les plus avancés d'Europe avec un lancement prévu pour 2026 – ce qui en ferait la toute première centrale

BECCS du continent. Bien qu'il s'agisse d'un projet isolé, l'entreprise Stockholm Exergi qui exploite d'autres centrales à Stockholm a déjà partagé des plans pour adapter une autre de ses installations en cas de succès avec KVV8.

Au Royaume-Uni, la transformation de la centrale de Drax dans le Yorkshire en centrale à biomasse a beaucoup attiré l'attention des médias. Étant une des plus puissantes sources d'électricité de la Grande-Bretagne, cette centrale au charbon a été convertie progressivement à la biomasse à partir de 2008. Le projet serait ensuite d'ajouter d'une unité de captage du carbone afin de faire d'elle la plus grosse productrice d'émissions négatives européenne avec une capacité de 8 MTCO₂/an. Plusieurs installations de CCS sont en projet en Grande-Bretagne comme le celui de Storegga vers Aberdeen, Écosse ou celui de Net Zero Teesside près de Newcastle, Angleterre, mais celui de Drax est le seul qui présente un programme BECCS aussi important et développé. Les premières injections géologiques de carbone sont prévues en 2027. Les déploiements britanniques à l'inverse de ceux suédois sont tous intégrés à des *clusters*, c'est-à-dire que l'infrastructure de transport et de stockage sera mutualisée avec d'autres émetteurs. L'usine de Drax ne fait pas exception et ambitionne d'être la colonne vertébrale d'un cluster dans le Humber, un estuaire très industrialisé du nord-est de l'Angleterre.

Évidemment, ces deux cas d'étude seront développés plus abondamment dans les chapitres suivants. Mais déjà nous constatons des différences intéressantes non seulement nationalement, mais aussi dans les formes et modalités des projets. Bien qu'il s'agisse de la même technologie et que les installations aient le même but, la géographie, les échelles de production, l'intégration industrielle et les modes de financement sont diamétralement divergents. Ainsi nous sommes certains de réaliser une comparaison pertinente entre des cas aux modalités de déploiement suffisamment représentatives de la majorité des possibilités de développement du BECCS.

Une fois nos cas clairement identifiés, nous avons continué à rassembler des données sur ceux-ci à travers des entretiens préliminaires, des recherches bibliographiques ou des revues de presse. Rapidement est apparue la nécessité de construire un cadre de comparaison pour observer les projets suédois et anglais sous un même regard. Ce cadrage devait à la fois rendre compte des similitudes et dissemblances déjà rencontrées et s'insérer dans la littérature sur l'acceptabilité sociale étudiée dans le chapitre précédent. Nous avons alors exploré plusieurs cadrages d'un contexte socio-politique de transition énergétique.

III. La méthodologie

Maintenant que nos cadres sont posés, le premier contextuel est définitif et le second évolutif pour les évaluations des acceptabilités, nous nous projetons dans l'enquête de terrain. Pour commencer, nous délimiterons nos terrains grâce à une revue littéraire et médiatique de tous les documents traitant de nos deux projets en Suède et en Angleterre. Ensuite, nous planifierons des entretiens avec des acteurs directement concernés par ces projets et nous nous rendrons sur place pour réaliser les entretiens et voir de nos yeux les installations industrielles. Enfin, les entretiens seront retranscrits, les documents catégorisés et nous traiterons toutes ces données qualitativement afin de découvrir des liens entre le contexte et les acceptabilités.

III.1. Recherche littéraire et revue de presse

Nous avons commencé notre recherche de presse à l'aide de l'agrégateur de presse Europresse. Nous avons ainsi pu trouver les journaux qui parlaient directement des projets Drax ou KVV8. Une fois les journaux principaux identifiés, nous avons continué à creuser sur leurs sites internet pour des compléments d'information notamment celui du *The Guardian* et *Energy Live News*. Les portails d'articles scientifiques nous ont permis d'accéder à des revues spécialisées d'ingénierie telles que *The Chemical Engineer*¹⁹ ou *Process Engineering*²⁰, qui relatent avec beaucoup plus de détails que la presse générale, les actualités des centrales. Ces revues étant britanniques, elles traitent avec une plus grande priorité les processus de transformation de la centrale de Drax, ainsi que les obstacles et faveurs de ceux-ci, mais quelques articles sur la centrale KVV8 suédoise y sont tout de même publiés. Faute de maîtriser la langue suédoise, la presse suédophone nous est malheureusement restée inaccessible. Mais des revues spécialisées internationales comme *Power Technology*²¹ ou *Modern Power System*²² nous ont permis de compléter nos connaissances sur la centrale suédoise.

En parallèle, nous avons commencé une revue de la littérature scientifique élargie sur le BECCS en Angleterre et en Suède grâce à Scopus et Google Scholar. Nos critères de recherche concernaient en premier lieu les projets particuliers, mais s'étendaient ensuite au BECCS dans ces pays. Les sites officiels des gouvernements suédois et britanniques nous ont encore beaucoup renseigné. Au total, nous avons traité quelque 300 références scientifiques et une centaine d'articles de presse ou de billets officiels.

¹⁹ <https://www.thechemicalengineer.com/>

²⁰ <https://processengineering.co.uk/>

²¹ <https://www.power-technology.com/>

²² <https://www.modernpowersystems.com/>

III.2. Les entretiens

Avec ce premier travail de repérage bibliographique, nous avons identifié quatre types d'acteurs ayant un rôle clé dans le déploiement du BECCS : les acteurs industriels, associatifs, administratifs et académiques. Cette nomenclature fait écho aux découvertes du chapitre 2 sur les acteurs impliqués dans un processus d'innovation, Anderson et Chiavari (2009) pour les associations, O'Neil et Nadaï (2012) pour les acteurs industriels et administratifs et enfin l'ensemble de notre état de l'art témoigne de l'investissement des acteurs académiques.

Pour avoir un échantillon représentatif nous avons cherché à interroger une dizaine d'acteurs dans chaque catégorie, soit une quarantaine au total. Pour éviter les redondances, nous avons aussi diversifié au sein même de nos catégories le choix des participants. Pour les acteurs associatifs, nous avons évité d'interroger deux personnes d'une même association. Il en va de même pour les acteurs industriels où dans les grandes compagnies nous n'avons sélectionné qu'un seul individu par département, tout comme pour les acteurs administratifs. Par exemple, au sein de la compagnie Drax au Royaume-Uni, nous avons obtenu quatre entretiens : un avec le directeur de l'innovation, un avec la directrice de la communication, un autre avec le directeur de la stratégie et enfin le dernier avec une responsable des relations publiques. Pour les acteurs académiques, nous avons encore érudé les doubles d'entretiens dans une même université sinon dans un même département de recherche. Avec cette logique, nous avons essayé de constituer un panel d'entretien aussi représentatif que possible.

Approximativement la moitié des répondants furent contactés grâce aux coordonnées trouvées sur LinkedIn, Twitter ou les sites internet officiels de leurs associations, compagnies ou universités. Un tiers fut abordé lors du terrain au Royaume-Uni grâce à la participation à de nombreuses conférences, colloques et visites industrielles. Enfin, le reste des entretiens fut obtenu grâce à *l'effet boule de neige*. À la fin de chaque entretien, nous demandions au participant de nous transmettre le contact d'une personne de sa connaissance correspondante à nos catégories d'acteurs, mais dans un autre service ou secteur. De cette manière, par exemple, nous avons par l'entremise d'un responsable d'une association environnementale européenne, interrogé un responsable de la direction pour l'action climatique de la Commission européenne.

Les entretiens se déroulaient selon une procédure semi-directive. En amont de l'entretien, nous menions une recherche sur le profil de l'interviewé tel que son rôle dans le service, son passé professionnel et académique, les possibles entretiens qu'il avait déjà donné dans la presse. À partir

de là, nous prévoyions quelques questions adaptées même si au fur et à mesure des réponses, nous choisissons de creuser plus dans une direction que dans une autre.

Le début de l'entretien avait pour objectif de situer l'acteur dans le processus de déploiement du BECCS en lui demandant, par exemple, sa formation d'origine, son rôle dans la compagnie et la nature de ses missions. De plus, si le participant n'abordait pas naturellement ces sujets, quelques questions de base étaient prévues telles que : « À votre avis, quels sont les obstacles au développement du BECCS ? » ou « Quels sont les soutiens actuels au développement de celui-ci ? ». Mais plus qu'une série de questions, ce sont des thèmes que nous désirions évoqués. À l'intérieur de ces thèmes, les questions différaient selon le profil et l'intérêt du participant. Comme certains acteurs possédaient des connaissances plus spécifiques sur un domaine plutôt qu'un autre, nous pensons que la combinaison de toutes leurs lumières permet d'avoir un éclairage plus complet.

Cette méthode nous a paru la plus pertinente étant données les conditions de déploiement du BECCS qui impliquent diverses dimensions, du politique, de l'économique, du social et du technique. Nos participants étaient alors libres de fournir leurs expertises et perceptions sur des incertitudes multi-dimensionnelles et ainsi identifier plus efficacement les avantages et obstacles aux projets de développement.

De plus, les entretiens semi-dirigés sont habituellement inductifs et exploratoires, plutôt que déductif (Sovacool et al., 2018). Notre objet d'étude étant une innovation, autant du point de vue technique que social, sur laquelle peu d'éléments peuvent être inférés, nous nous sommes laissés « surprendre » par les discours des participants. Par ailleurs, même si l'étendue de notre terrain se limitait à 2 cas concrets, les centrales de Drax au Royaume-Uni et KVV8 en Suède, les acteurs interrogés pour être pertinent devaient avoir une vision globale du BECCS, de ses tenants et aboutissants à travers l'Europe sinon le monde.

Ainsi les thèmes abordés étaient généraux à la fois pour la pertinence de l'enquête, mais aussi pour des raisons pratiques. Cela nous donnait plus de temps pour aborder directement les préférences et les domaines d'expertises de chaque acteur tout en restant sur des thématiques communes à l'ensemble des acteurs. Les questions pouvaient être posées différemment de la manière dont elles sont écrites, mais des efforts ont été faits pour limiter ces variations et conserver la qualité, la direction ou la justesse des réponses.

Nous avons divisé les thèmes en quatre grandes questions :

- Quels sont les appuis, facilités ou soutiens au déploiement du BECCS ?
- Quels sont les obstacles, dangers ou oppositions au déploiement du BECCS ?
- Quelle est la partie de la chaîne de valeur (approvisionnement, captage, transport, stockage) qui vous semble la plus fragile, problématique ou à améliorer ?
- Comment se déroule actuellement le déploiement ? et comment évolue-t-il ?

Suivant les réponses initiales, les questions suivantes pouvaient être de la forme : « Pouvez-vous me donner plus de détails sur ce point ? Par exemple, quand est-ce que c'est arrivé ? Avec qui ? » ou « Quelles sont les actions concrètes que votre association/entreprise à réaliser pour/contre le déploiement du BECCS ? ». Les acteurs étaient encore interrogés sur leur domaine précis d'expertise ou bien sur des sujets ouverts, mais peu développés par les précédents participants. À titre d'illustration pour un responsable administratif, la question pouvait prendre la forme : « Comme le choix d'une politique de soutien au BECCS se fait sur de nombreux arbitrages, pouvez-vous nous donner les avantages et inconvénients de celle-ci ? » ou pour un autre interviewé « Un précédent entretien a évoqué ce point, est-ce que vous pouvez nous en dire plus ? »

Les thèmes ne concernaient pas directement l'acceptabilité sociale, car comme je me présentais déjà comme un chercheur en sciences sociales intéressé par l'acceptabilité du BECCS, je voulais réduire autant que possible ce biais. Du fait de la présentation de mes travaux pour la prise de contact, les participants faisaient rapidement référence à l'acceptabilité sans que je ne l'aie mentionné dans l'entretien. Ils avaient tendance à placer l'acceptabilité dans les paramètres prioritaires à surveiller pour le déploiement, ce qui est cohérent avec les informations recueillies dans la littérature, mais qui ne pouvait pas correspondre avec la réalité du participant. Il serait naïf de croire que ma présentation n'est pas jouée en faveur d'une reconnaissance accrue de cette problématique par les acteurs. Le risque était que celle-ci ne soit pas positionnée à sa juste place dans le déploiement du BECCS. Nous évitions ainsi de parler directement d'acceptabilité afin, d'abord de limiter ce biais et ensuite pour laisser toute latitude aux acteurs de définir eux-mêmes ce qu'ils considéraient du ressort de l'acceptabilité. Les définitions ainsi obtenues proviennent directement et complètement de notre terrain d'étude.

La très grande majorité de nos entretiens furent réalisés en distanciel parce qu'au début de l'enquête, des restrictions liées au COVID étaient encore de rigueur et par la suite, les acteurs avaient pris l'habitude de travailler de cette manière. Par exemple, lors de conférences nous rencontrions en personne les acteurs et après avoir expliqué notre démarche, ceux-ci nous encouragèrent à les contacter

par visio ultérieurement. Cette méthode introduit certaines particularités aux entretiens. La première est l'absence de discussions informelles en dehors des temps d'enregistrement, les fameux « off », qui parfois permet d'en apprendre plus que ce que les versions officielles révèlent. Il résultait de la forme particulière de ces entretiens, une autre spécificité était la durée limitée des entretiens. Souvent réalisés pendant les pauses ou les temps « vides » des interviewés, bien occupés par leurs fonctions, les entretiens duraient généralement entre 45 minutes et 2 h. Ce qui peut paraître court, c'est pourquoi si un participant n'avait pas eu suffisamment de temps à nous accorder et souhaiter prolonger l'entretien, nous planifions un second rendez-vous. Cinq acteurs ont été interrogés de cette manière. La plupart de nos participants, ayant des postes importants avec des journées de travail chargées, nous gardions les entretiens les plus pragmatiques possibles afin de découvrir leurs perceptions « naturelles » directement issues de leur expérience professionnelle. Les enregistrements ont été par la suite retranscrits à l'aide d'un logiciel et d'une écoute attentive puis interprétés qualitativement.

Constatant cette méthode de travail sur notre premier terrain anglais, nous avons jugé possible de mener l'enquête suédoise complètement en distanciel, c'est-à-dire sans nous rendre sur place. En effet, si tous les entretiens avaient été menés en distanciel et sans échange académique avec une université suédoise comme ce fut le cas pour le terrain anglais, le seul intérêt du voyage aurait été la visite du site industriel de KVV8. Mais sans contact sur place, il n'était même pas sûr que nous puissions découvrir cette centrale. Évidemment ce choix induit un déséquilibre dans l'acquisition des données de chaque terrain, mais qui n'est pas aussi important qu'il le laisse croire. Les méthodes d'entretien sont rigoureusement les mêmes, les profils des acteurs interrogés sont semblables et la recherche bibliographique sur la Suède a été aussi autant sinon plus importante que celle sur l'Angleterre pour compenser l'absence de visite. Ainsi cette apparente disproportion de traitement entre les deux terrains n'empêche pas la réalisation d'une comparaison pertinente et équilibrée.

III.3. L'immersion sur le terrain

Pour notre premier cas d'étude, nous avons donc eu la chance de nous immerger dans l'environnement de déploiement du BECCS en rejoignant les experts et les associations qui s'y engagent en Grande-Bretagne. Notre mission sur place a duré 7 mois entre le 15 janvier 2022 et le 15 juillet 2022. Nous avons doublé notre immersion « ethnographique » d'une intégration académique. Le professeur Jonatan Pinkse nous a accueillis comme membre à part entière de son équipe de recherche au département de Recherche en Innovation à l'université de Manchester. Ce fut pour nous l'occasion d'échanger avec de nombreux professeurs de l'université qui travaillent directement sur le BECCS comme Robert Bellamy, Clair Gough, Sarah Mander ou Frank Geels.

Nous avons encore suivi les cours doctoraux des professeurs Jonatan Pinkse sur l'usage de l'innovation dans les transitions et de Kieron Flanagan sur les politiques publiques dans les innovations. En présentant nos travaux lors des séminaires de laboratoire, devant des professeurs et doctorants de l'université britannique, nous avons pu enrichir nos réflexions de leurs observations. Grâce à l'exposition de notre poster à la troisième conférence internationale de recherches en sciences sociales sur les transformations énergétiques et climatiques organisée par Elsevier à Manchester²³, nous avons également bénéficié directement des conseils de chercheurs non-mancuniens sur le BECCS et le CCS tels que Leslie Mabon, Catherine Lambert ou Peter Taylor.

Au-delà de l'enrichissement académique, nous nous sommes inscrits à des conférences centrées sur les technologies CCS et ses variantes qui rassemblaient autant des acteurs de la finance, que de l'industrie, de l'administration et des associations. Deux d'entre elles nous ont particulièrement marqué par le foisonnement et la variété des profils représentés : la conférence de printemps 2022 du centre de recherche britannique pour le CCS à Sheffield²⁴ et la conférence annuelle du centre de recherche écossais sur le CCS à Edinburgh²⁵. Pendant ces deux événements au cours desquels nous avons présenté un poster, de nombreux contacts avec de haut - administratifs ou associatifs ont pu être établis, qui ont ensuite conduit à des entretiens de qualité. Suite à ces rencontres, nous avons été invités à visiter le laboratoire TERC²⁶ (Translational Energy Research Center), un centre d'essais et d'expérimentation à l'échelle industrielle des procédés de captage du dioxyde de carbone issu de

²³ Conférence d'Elsevier « Energy and Social Sciences » à Manchester en 2022 :

<https://www.elsevier.com/events/conferences/international-conference-on-energy-research-and-social-science>

²⁴ Conférence de printemps du centre de recherche britannique sur le CCS

<https://ukccsrc.ac.uk/event/ukccsrc-network-conference-20-21-april-2022/>

²⁵ Conférence du centre de recherche écossais sur le Net Zero de 2022 : <https://ukccsrc.ac.uk/event/sccs-annual-conference-2022-hybrid-event-net-zero-boundaries-and-borders-where-do-we-draw-the-line/>

²⁶ Site de promotion du nouveau centre de recherche appliqué britannique dédié au captage du carbone <https://terc.ac.uk/research/our-expertise/carbon-capture/>

la combustion de la biomasse. Là, les discussions avec des chercheurs tels que Piera Patrizio, Mathieu Lucquiaud ou Jon Gibbins ont encore beaucoup apporté à nos travaux. De cette immersion, nous pouvons conclure une visite industrielle d'une demi-journée sur la centrale de Drax a été organisée avec les deux fondateurs de la start-up Olsights²⁷, rencontrés lors d'une des conférences précédentes. Au cours de cette visite, nous avons pu échanger avec trois responsables de la centrale et évoquer le fonctionnement de la centrale, les avantages et inconvénients du BECCS ainsi que les projections pour le futur.

Toutes ces rencontres et visites nous ont principalement exposées à des cercles de promotion du BECCS et/ou du CCS. Plusieurs raisons expliquent cette particularité de notre étude. D'abord, le BECCS n'est pas encore très connu par la société civile comme le démontre (Bellamy, 2019) et les associations environnementales se mobilisent peu. Nous avons contacté de nombreuses associations environnementales qui ont publié des manifestes anti-BECCS (BiofuelWatch, Friends of the Earth, GreenChristian, GreenPeace, The Lifescape Project, The Royal Society for the Protection of Birds), mais la plupart d'entre elles nous ont répondu qu'elles n'avaient pas d'experts dédiés sur cette technologie en mesure de répondre à nos questions. D'autres nous ont renvoyés vers l'une d'entre elles (BiofuelWatch) qui est le fer de lance de la campagne anti-BECCS au Royaume-Uni. Les associations prennent encore peu part au débat sur le BECCS comme nous le constatons aussi dans la littérature (Chailleux et Arnauld de Sartre, 2021). Ensuite, de par la formation initiale du chercheur, l'accès aux milieux académiques et industriels nous a aussi été facilité. Étant ingénieur de formation et ayant travaillé quelques années dans le secteur de l'exploitation gazière, l'auteur de ce travail maîtrisait plus facilement les codes et thématiques des promoteurs du BECCS. Par souci de simplicité et de cohérence, notre étude se place dans une certaine proximité cognitive avec les promoteurs.

Pour le terrain d'étude en Suède, le choix a été fait de mener une campagne d'entretiens par visioconférences et étude des documents et rapports de la société. Ce choix est justifié par le fait que l'expérience acquise pendant le terrain d'étude anglais nous a permis d'être plus précis sur le choix de l'échantillon suédois et plus pertinent dans le déroulement des entretiens. Nous étions en mesure d'extraire plus de données utiles d'une moins grande quantité d'entretiens. De plus, nous avons rassemblé une large banque de connaissances générales sur le BECCS grâce au premier terrain. Nous avons évité les redondances en nous focalisant directement sur les particularités du second terrain d'étude. En cherchant plutôt les divergences, nous avons pu circonscrire le nombre d'entretiens à une douzaine. Ce qui ne nécessitait pas un déplacement coûteux sur place. Les résultats de cette campagne d'entretiens, menée avec les mêmes méthodes que la campagne en

²⁷ Site internet de la start-up Olsight : <https://www.olsights.com/>

Angleterre à l'exception des conférences et visites en Suède, nous ont apporté suffisamment d'informations pour établir une comparaison pertinente. Nous trouvons alors justifié d'intégrer ces entretiens à notre travail.

III.4. Bilan préliminaire des entretiens

Au total, nous avons conduit 43 entretiens dont 31 en Angleterre et douze en Suède. La répartition en type d'acteurs sur les deux terrains confondus est la suivante : douze acteurs académiques, neuf acteurs associatifs, quatorze acteurs industriels ou affiliés et 8 acteurs administratifs. En termes de quantité d'entretiens, le terrain suédois représente un tiers de l'anglais, mais les entretiens sont en moyenne un plus long et surtout plus précis. La focale vers les promoteurs du BECCS se remarque grâce à une plus grande représentativité des acteurs industriels et académiques par rapport aux acteurs administratifs ou associatifs. Néanmoins, nous avons cherché à ce que la part de chaque type d'acteur soit relativement proche afin de conserver une grande représentativité de tous les milieux. Par exemple, aucun type d'acteur ne participe 2 fois plus qu'un autre à l'enquête.

Tableau 8 : Proportions de la représentation des types d'acteurs dans l'enquête, Auclair 2023

Type d'acteurs	Académiques	Associatifs	Industriels	Administratifs
Angleterre	9	6	10	6
Suède	3	3	4	2
Total	12	9	14	8
Part du total	28 %	21 %	32 %	19 %

Désormais, tous nos outils pour l'analyse sont prêts. Nous avons balisé le terrain pour nous repérer entre les différentes acceptabilités grâce à l'état de l'art. Avec le cadrage contextuel, nous sommes en mesure de comparer précisément nos deux terrains d'études. Enfin, notre méthodologie de collecte des données nous assure une vision exhaustive des terrains et un remplissage adéquat des grilles d'analyses.

Nous continuons alors sereinement vers nos enquêtes de terrain avec les deux prochains chapitres.

Troisième Chapitre

Le BECCS en Angleterre

Le renouveau du charbon ?

Introduction : une centrale contestée depuis longtemps

Le BECCS, à Drax, est l'aboutissement actuel d'une série de transformations qui ont commencé il y a plus de trente ans. Les dimensions de cette centrale cristallisant toutes les controverses sur les systèmes énergétiques fossiles, la station a été menacée de fermeture à plusieurs reprises. La direction de la centrale s'est alors engagée dans une course à l'innovation qui trouve, aujourd'hui, son arrivée dans l'intégration du BECCS.

Le point culminant de ces menaces de fermeture a été atteint lors de l'été 2006 quand 600 activistes climatiques s'installèrent dans un « Climate Camp » non loin des tours de refroidissement pour réclamer la fermeture de la centrale. À cette époque, la centrale fonctionnant encore au charbon est une des plus polluantes d'Europe dégageant 22,8 millions de tonnes de CO₂ par an²⁸. Réclamant l'arrêt des émissions, certains manifestants iront même jusqu'à tenter de s'introduire dans la salle de commande pour forcer l'arrêt de la production. La police arrêtera alors 38 personnes dans ce qu'elle rapportera comme un grave trouble à l'ordre public et une menace certaine pour l'approvisionnement électrique du pays. Rappelons aussi qu'en produisant environ 4 GW de puissance électriques, Drax fournit presque 7 % de la consommation britannique ; 4 millions de foyers dépendent de la centrale pour leur éclairage, chauffage et autres usages électroménagers.

Par conséquent, l'évènement a eu un impact majeur dans la presse britannique avec un reportage de la BBC et plusieurs articles dans le journal The Guardian, de sensibilité centre gauche, dont le site web est un des plus lus dans le monde²⁹. Ce dernier journal, rejoignant les revendications des manifestants, espère voir dans cette action un électrochoc pour une politique publique nationale dont il déplore l'inaction en matière de lutte contre le réchauffement climatique³⁰. D'autres médias comme le NewStatesman déplorent une vision unilatérale de l'évènement qui éclipse les motivations des activistes au profit « d'une raison d'État » qui doit conserver l'ordre dans le pays et l'électricité dans les foyers.

That's odd, I thought. Isn't the BBC supposed to report both sides of the story? At no point was there any attempt to explore why the anti-Drax campaigners had set up their camp in the first place, or why they should want to do such a crazy thing as shut down a power station that supplies 7 per cent of the UK's electricity 'needs'. [Marc Lynas, NewStatesman, 11/09/2006, p.20]

²⁸ Dirty Thirty, Ranking of the most polluting power plant in Europe, WWF – May 2007

²⁹ Consulté sur le site du The Guardian en 2021 : <https://www.theguardian.com/gnm-press-office/8>

³⁰ Consulté sur le site du The Guardian en 2021 : <https://www.theguardian.com/commentisfree/2006/sep/01/politics.environment>

Malgré ces tentatives d'occultations, les contestations associatives n'ont pas cessé. L'association américano-britannique BioFuel Watch, qui est le fer de lance de l'opposition à la combustion de la biomasse à Drax, se félicitait au cours d'une manifestation devant la centrale en 2016 de fêter les dix ans de la lutte pour le climat et la biodiversité depuis le « Climate Camp »³¹. Les difficultés socio-environnementales d'aujourd'hui prennent un nouveau visage avec la mobilisation sérieuse d'associations environnementales, mais l'histoire de la centrale depuis sa construction n'est pas épargnée par d'autres formes de complications.

En concordance avec le double cadrage de notre méthodologie d'analyse, nous séparons notre enquête de terrain en deux parties. La première partie traitera des éléments du contexte et la seconde évoquera les sujets d'acceptabilité.

La première partie sera découpée en quatre grandes périodes successives, qui sont séparées par un ou plusieurs changements significatifs parmi les six facteurs de notre grille d'analyse dans la vie de la centrale. Une première période de 1964 à 1990, qui s'étend de la construction de la centrale jusqu'à la privatisation du secteur de l'énergie. Elle montre comment le charbon n'est pas une source d'énergie neutre pour les décideurs britanniques, mais un vecteur de richesse et de souveraineté. La deuxième période débute juste après la privatisation et montre les tentatives subséquentes de financiarisation de l'adaptation technologique de la centrale au changement climatique. Le passage à la troisième période est marqué par l'introduction en Bourse de la centrale en 2005. C'est le commencement des adaptations aux exigences de la lutte contre le réchauffement climatique. La première adaptation que nous avons choisie de montrer dans cette partie est le couplage des centrales à des infrastructures de captage et de stockage de carbone, car c'est celle qui a été largement soutenue par le gouvernement britannique. Cette période prend fin en 2015 avec l'annulation du projet-pilote pour le CCS à Drax. La dernière période, qui débute en 2012 chevauche légèrement la précédente, mais elle concerne une tout autre adaptation technologique, celle de la conversion à la biomasse de la centrale à charbon. Cette dernière transformation, qui est la première étape pour le BECCS, cristallise toutes les controverses actuelles sur la centrale de Drax. A priori, cette phase se terminera en 2027 après la fin du contrat qui subventionne la production d'électricité à partir de la biomasse.

³¹ <https://www.biofuelwatch.org.uk/2016/drax-press-release/>

I. 1964-1990 : *Drax, l'épigone de la grandeur du charbon au Royaume-Uni*

I.1. *La « conscience du charbon » construit une nouvelle centrale*

Envisagée dès 1964 par le Central Electricity Generating Board (CEGB), le producteur public d'électricité britannique, la plus grande unité de production d'électricité britannique est inaugurée en 1974 dans une région particulièrement carbonifère, marquée par la découverte contemporaine d'un gisement de charbon dans la localité voisine de Selby³². Suivant une ambitieuse stratégie d'indépendance énergétique (Taylor, 2003)³³, cette politique de relance de la production autochtone et d'agrandissement des mines de charbon nationales dénommé « Plan for Coal » émerge en réaction au choc pétrolier de 1973. D'autres pays européens engagent dans la même période des plans d'indépendance similaires, comme le « Plan Messmer » pour l'électro-nucléarisation de la France, afin de soutenir une consommation énergétique toujours croissante de leur industrie et de leur population.

Le charbon est pour la Grande-Bretagne, ce que l'uranium est à la France. Le support énergétique de l'indépendance et de la grandeur du pays. Le charbon est au cœur de la représentation collective d'un État impérial britannique. La révolution industrielle, qui a fait l'âge d'or de la Grande-Bretagne, s'est nourrie essentiellement sinon exclusivement du charbon. La marine, qu'elle soit marchande ou militaire, a toujours fait la fierté des Britanniques, en projetant leurs économies ou leurs armées aux quatre coins du monde. À la fin du XIX^e siècle, les intérêts économiques et diplomatiques de l'Empire nécessitent une protection militaire globale. C'est le contrôle de l'approvisionnement d'une grande quantité de charbon de bonne qualité qui donnera aux Britanniques, un sérieux avantage sur toutes les autres nations. Le chercheur Steven Gray introduira même le concept de « conscience du charbon » pour décrire « *une prise de conscience naissante du rôle crucial que la sécurité du charbon et des infrastructures charbonnières a joué dans la protection des intérêts britanniques à l'étranger* » (Watson, 2018).

À la suite d'un voyage en Angleterre et en Écosse, Jules Verne écrira son roman *Les Indes Noires* dans lequel l'auteur établit un parallèle direct entre la richesse coloniale de l'Empire britannique des Indes et la richesse industrielle de la Grande-Bretagne, fondée par ses houillères. « *On sait que les Anglais ont donné à l'ensemble de leurs vastes houillères un nom très significatif. Ils les appellent très justement les "Indes-Noires", et ces Indes ont peut-être plus contribué que les Indes orientales*

³² Massey, C. T., et J. Stenton. « The Selby Project Britain's Greatest Coal Mine ». *Interdisciplinary Science Reviews* 9, n° 1 (janvier 1984): 70-81.

à accroître la surprenante richesse du Royaume-Uni. Là, en effet, tout un peuple de mineurs travaille, nuit et jour, à extraire du sous-sol britannique le charbon, ce précieux combustible, indispensable élément de la vie industrielle » (Férat et al, 1995). Loin d'être une pure fantaisie de l'auteur, le terme d'Indes Noires et surtout la richesse générée par le charbon irrigue toutes les représentations collectives sur la puissance économique et militaire de la nation. Ainsi dès qu'un plan d'indépendance énergétique a dû être pensé, le recours au charbon a presque été automatique.

Même quand, à l'aube de la « révolution environnementale » des années 1970, le charbon devenait plus impopulaire pour des raisons écologiques (North & Spooner, 1977), le gouvernement britannique a insisté pour que la centrale soit construite au charbon pour conserver tous les emplois industriels et miniers dans cette région de l'Angleterre³⁴. La réalité économique vient dans cette décision se juxtaposer à celle de la réalité cognitive du charbon pour la Grande-Bretagne, celui d'un marqueur de puissance et d'indépendance.

Toutefois le manque de popularité du charbon augmentera les incertitudes et les hésitations sur ce choix politique en entraînant des retards dans la construction de la centrale comme le rapporte un document d'ingénierie civile de 1974.

*The construction of the station was planned in two stages; the first three units are now almost completed; the fourth unit is on the CEGBs current programme, but **the present unpopularity of coal as a fuel may mean that its construction will be delayed for some time***³⁵.

Pour contourner cette difficulté, le projet du CEGB est alors de coupler la production à partir du charbon à une production d'origine nucléaire pour les trois fourneaux restants. Mais « la conscience du charbon » a la peau dure et l'idée sera refusée par le gouvernement. Sur le motif de fournir et sécuriser au plus vite l'approvisionnement énergétique nécessaire aux industries lourdes du nord de l'Angleterre³⁶ alors en pleine grève ouvrière. Ainsi douze ans après la mise en service des trois premiers fourneaux au charbon, ce sont à nouveau trois autres fourneaux au charbon qui s'allument en 1986 pour garantir la croissance économique du pays. Derrière la construction de la deuxième partie des unités de production se distinguent des contraintes matérielles et idéelles dont l'influence se porte principalement sur nos facteurs de matérialité et de représentations collectives.

³⁴ Großbritannien, éd. *Advances in Power Station Construction*. 1. ed. Oxford New York Toronto Sydney Frankfurt [Main i.e.] Kronberg: Pergamon Press, 1986.

³⁵ Judson, Jc, Cje Morris, et CEGB. « DRAX POWER STATION. » *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 56, n° 4 (novembre 1974): 559-76.

³⁶ *Generation Development and Construction Division, CEGB Barnwood (1986). Advances in Power Station Construction. Pergamon Press.*

Ainsi le choix de la source d'énergie s'explique par *une dépendance au sentier* envers le charbon porté par des contraintes matérielles avec des infrastructures et des emplois dans ce type d'industrie, et un imaginaire positif qui relie la puissance nationale à l'exploitation du charbon. Toutefois, cette vision d'un glorieux passé impérial s'est érodée devant la sensibilisation des dangers climatiques de la combustion du charbon. Les hésitations sur le combustible se traduisent tout de même par le fait que la centrale de Drax est planifiée pour être la dernière centrale à charbon du Royaume-Uni.

Alors que sa construction doit marquer la fin du règne du charbon, ses caractéristiques en font le sommet de l'usage du combustible. Elle est la première centrale équipée d'une nouvelle génération de turbines de 660 MW qui en font la plus puissante d'Europe³⁷. Les nombreux challenges techniques entourant la construction nous interrogent sur les motivations des promoteurs. Il eut été bien plus simple de reproduire l'échelle et les plans d'une centrale déjà existante et alors Drax serait devenue une unité de production « banale » dans le mix énergétique anglais. Ce paradoxe s'explique par une forme d'*opportunisme réglementaire*.

Les raisons qui ont conduit au choix d'une telle échelle de développement se trouvent justement dans le fait que Drax est, dès sa conception, considérée comme la dernière centrale à charbon du pays. En effet, l'opportunité de construire une nouvelle centrale est extrêmement rare, car il faut réunir de bonnes conditions matérielles avec des autorisations administratives complexes. D'abord pour les conditions matérielles, il faut que la station soit à bonne distance de zone résidentielle tout en étant à proximité d'une rivière ayant un débit important et constant toute l'année pour le refroidissement des réseaux de circulation ainsi qu'une bonne connexion au réseau ferroviaire et routier pour l'acheminement du combustible et l'évacuation des cendres. Sa proximité avec les mines de charbon du sud du Yorkshire rendait son approvisionnement plus économique. Ensuite, l'opportunité d'obtenir les autorisations administratives pour de tel site étant exceptionnelle, les promoteurs ont voulu tirer le plus grand profit de « ce dernier coup » en maximisant autant que possible la capacité de production avec l'introduction de turbines innovantes plus puissantes que celles des centrales existantes.

³⁷ Judson, Jc, Cje Morris, et CEGB. « DRAX POWER STATION. » *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 56, n° 4 (novembre 1974): 559-76.

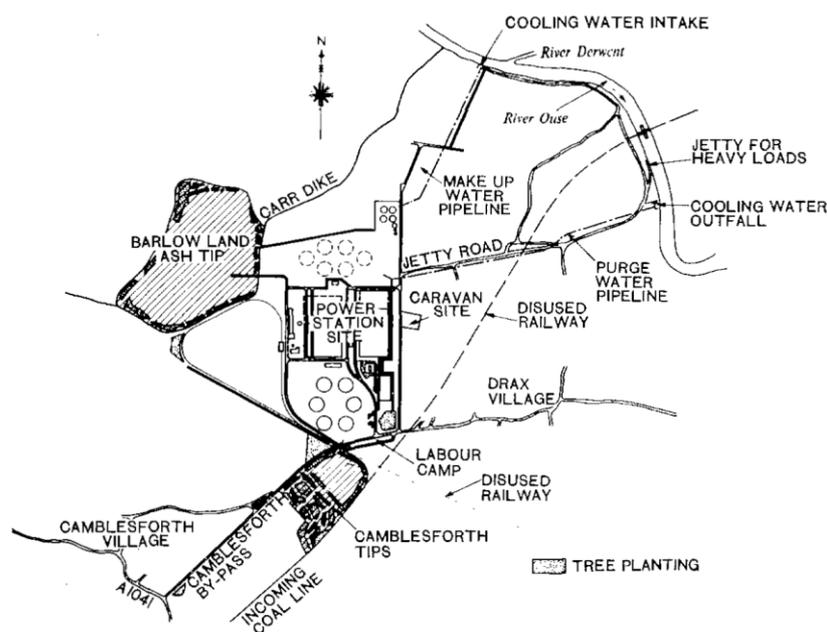


Figure 18 : Plan aérien des environs de la centrale (Judson et al., 1974)

Dès les débuts, nous distinguons clairement les déterminants matériels, cognitifs et politiques qui influencèrent son emplacement, ses dimensions et son combustible. Cette influence du style politique et des représentations collectives conservera une importance cruciale dans les transformations de la centrale de Drax. Évidemment, par son poids dans le mix énergétique nationale, la centrale a noué une relation d'interdépendance très forte avec l'État britannique. Ce dernier apporte les subsides nécessaires à son fonctionnement et celle-ci s'adapte aux conditions changeantes du paysage politico-environnemental pour continuer l'approvisionnement. C'est justement l'influence de ces déterminants et leurs effets que ce chapitre veut mettre en lumière.

I.2. Pour être dans l'air du temps, la centrale se transforme

Deux ans après la fin de la construction, soit en 1988, des riverains manifestent leurs premières inquiétudes. L'objet de leur crainte qui porte sur la pollution de l'air générée par la centrale. Pour s'assurer de la présence d'un danger, ils commandent un rapport de mesure qui fait état de concentration de métaux lourds 2 à 3 fois supérieurs à ce qui était normalement attendu (Pattenden, 1976). Un peu plus tard, une nouvelle étude engagée directement par le conseil communal de Selby, une ville d'environ 90 000 habitants située à 10 km au nord de la centrale, révèle des dépôts de poussières significativement supérieurs aux normales observées dans la majorité des campagnes anglaises³⁸. Alertée par les précédentes études, la commune demande une nouvelle analyse en 1991 pour pointer directement la responsabilité de la centrale, qui malgré des équipements de filtration

³⁸ SDC (1981). Report on Ambient Dust Monitoring in the Parishes of Eggborough and Hensall. Department of Environment Health and Housing, Selby District Council, UK.

performants, brûle tellement de charbon que cela entraîne une dispersion significative de particules dangereuses aux alentours.

*Wind direction correlations point to the fly-ash tip next to Drax Power Station as being the source of cenospheres [un type de particules lourdes] arriving at Barlow. **It is concluded that in both years the fly-ash tip at Drax Power Station was making a significant contribution to higher than expected dust deposition rates at Barlow, particularly its eastern end. Other villages in the area may also have been affected by dust originating from coal-fired power stations (Vallack & Chadwick, 1993).***

La problématique de la pollution de l'air par des installations industrielles n'est pas propre à la localité de Drax. Au début des années 1970, plusieurs scientifiques établissent un lien direct entre l'augmentation de l'acidité des pluies et la surmortalité de la faune aquatique et le dépérissement des forêts. Ils incriminent ensuite rapidement les rejets gazeux toxiques des usines et centrales comme les coupables de l'acidification des pluies. Les pays les plus industrialisés, dont fait partie le Royaume-Uni, se réunissent alors en 1979 à Genève pour la Première Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance. Au cours des vingt années qui suivent, les 51 parties de la convention établiront huit protocoles pour mesurer les pollutions aériennes, réduire les émissions d'oxyde de soufre (SO_x), d'oxyde d'azote (NO_x) et de composés organiques volatils (VOCs) (Maarteen Hajer, 1993 ; Grennfelt, 2020).

Dans ce premier exemple d'internalisation des facteurs extérieurs, le Royaume-Uni rechigne au début à réduire sa pollution aérienne et refuse, par exemple, de signer le premier protocole de réduction des émissions de SO_x de 30 %. Le texte initial de ce protocole n'est pas jugé adapté aux spécificités locales, car plus de 70 % des émissions de SO₂ proviennent de centrales énergétiques dont la Grande-Bretagne ne peut pas se priver (Barnaby, 1988). Au cours d'un débat parlementaire, le secrétaire d'État à l'environnement de l'époque John Gummer répond à un député, qui l'interpelle sur l'avancement des négociations pour la réduction des émissions de dioxyde de soufre, que : *the latest text, if agreed, will allow parties to achieve the targets in the most cost-effective and flexible way, taking account of national considerations*³⁹. Force est de constater avec cette réponse officielle que même si des exigences supranationales s'imposent au Royaume-Uni, celles-ci ne s'appliquent pas directement au contexte local. Elles sont adaptées à celui-ci par les pouvoirs publics, qui cherchent à conserver la compétitivité économique de leurs industries nationales.

³⁹Rapport au Parlement britannique sur les pluies acides en 1993 : <https://hansard.parliament.uk/Commons/1993-12-09/debates/719b663b-0003-477a-9376-b911de527375/AcidRain>

D'abord réticent, le Royaume-Uni s'organise après les années 1980 pour lutter contre le problème des pluies acides. Stimulés par la prise conscience mondiale et la diplomatie internationale, des acteurs industriels, politiques, scientifiques et législatifs se rassemblent pour favoriser l'éclosion d'une industrie locale spécialisée dans la surveillance et la réduction des pollutions aériennes (Tickle, 1999). Il en va de même pour la première mutation de la centrale de Drax qui est la conséquence de cette succession d'étapes qui reflètent le processus complexe d'internalisation d'un évènement global.

Ajoutant sa pierre à l'édifice, la Commission européenne publie une directive en 1988 pour réduire les émissions de dioxyde de soufre dans les centrales énergétiques de l'Union, dont la Grande-Bretagne fait encore partie à cette époque. Le CEGB a ciblé une baisse de 40 % de ses émissions en 1998. Suivant l'application de cette directive, la centrale de Drax qui était la plus large et la plus moderne, mais aussi la plus polluante a été sélectionnée pour être équipée d'une technologie de pointe en matière de filtration du soufre nommée Flue Gaz Desulphurisation (FGD). C'est la première adaptation majeure de la centrale à des exigences environnementales.

Ce projet de FGD devait s'étendre sur huit ans, entre 1988 et 1996, et coûter 685 millions de livres. Filtrer 90 % des émissions de dioxyde de soufre des six fourneaux de Drax n'a pas été sans d'énormes challenges, autant dans la planification que dans la construction⁴⁰. Sans ces travaux, il est probable que la fermeture de la centrale ait été envisagée pour respecter les directives européennes de réduction des émissions soufrées. Pour prolonger la durée de vie de la centrale, la direction et le gouvernement se sont alors engagé sur la voie de la *reconfiguration* (Geels & Schot, 2007) en choisissant d'ajouter des compléments technologiques sans modifier l'infrastructure existante, accroissant d'autant leur dépendance au sentier du charbon.

Malgré cet effort important de modernisation écologique, l'agence britannique de l'environnement constatait toujours de graves retombées de dioxyde de soufre aux abords de la centrale en 2002. Il a donc été décidé de limiter la capacité de production à 60 % afin de conserver la limite de production annuelle de SO₂ à 45 000 tonnes par an. La cause principale de cette pollution était le charbon issu des mines britanniques, globalement trop riche en soufre qui surchargeait les systèmes de filtration. Pour remédier à ce problème et augmenter sa production, Drax a obtenu l'autorisation

⁴⁰ Stephan, H O, et J A Inglis. « DRAX POWER STATION: THE FGD RETROFIT. » Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering 102, n° 4 (novembre 1994): 145-55.

d'importer du charbon pauvre en soufre de l'étranger⁴¹ notamment de Russie, d'Australie, d'Afrique du Sud, de Colombie ou encore de Pologne.

Cette transformation de la centrale, comme les suivantes, s'appuiera sur trois leviers. Technologique, d'abord, par l'ajout de nouveaux appareils de filtration ; commerciale, ensuite car elle crée de nouvelles sources de revenus par la vente du soufre filtré et logistique, enfin, par la diversification de ses sources d'approvisionnement. De plus, cette adaptation de la centrale aux nouvelles normes anti-pollution est un exemple significatif de l'internalisation d'un facteur exogène « filtré » par les représentations collectives, la matérialité, le style politique et une configuration particulière d'acteurs locaux et nationaux. Ce dernier facteur de notre cadre contextuel, qui était jusqu'à présent relativement simple puisque la centrale était un bien national détenue par l'État, va connaître de nombreux bouleversements à partir de la privatisation des années 1990.

À la veille des années 1990, le Royaume-Uni engage une vague de privatisation dans différents secteurs de son économie. L'*Electricity Act* voté en 1989 engage le secteur de la production et de la distribution d'électricité dans cette voie (MacKerron, 2003). Drax est alors acquise par une compagnie britannique nouvellement créée et nommée National Power. Dix ans plus tard, elle est vendue pour presque deux milliards de livres à une compagnie américaine : AES⁴². Cette vente marque surtout le début d'une nouvelle représentation de l'énergie, celle de sa « banalisation ». Dans le langage des affaires, cela signifie que l'énergie devient une simple commodité standardisée sans spécificités aux yeux des consommateurs. La banalisation attirera de nombreux investisseurs financiers, plus attirés par les possibilités lucratives de la production d'électricité que par ses enjeux technologiques. Les configurations d'acteurs de cette filière s'en trouveront ainsi profondément transformée. Drax n'échappera pas à ce mouvement et sera considéré comme un actif parmi d'autres.

⁴¹ "Emission decision could force Drax to buy abroad", Professional Engineering, 6 septembre 2000

⁴² Consulté sur le site du journal The Independent en 2023 :

<https://www.independent.co.uk/news/business/national-power-sells-drax-plant-to-us-energy-company-aes-for-pounds-1-9bn-1113640.html>

II. 1990-2005 : Une financiarisation en façade et une politisation en coulisse

Bien que la privatisation du secteur public au Royaume-Uni reste controversée (Florio, 2007), le transfert de la centrale de Drax a été vu comme un succès par le gouvernement britannique qui transférait les risques sur un acteur privé tout en conservant l'emploi, la disponibilité d'approvisionnement sur son territoire et faisait financer les travaux d'adaptation aux normes environnementales citées plus haut⁴³. De plus, cette vente a été exigée à la compagnie National Power par le gouvernement afin que celle-ci après l'acquisition d'une autre centrale dans le Midland n'acquière pas une position monopolistique. Sans ce transfert de propriété, la part de National Power dans l'approvisionnement électrique eut dépassé les 46 % alors qu'après la transaction, elle est descendue à 12 %. Surveillant ainsi une égale répartition des capacités de production, le gouvernement garantit au mieux la concurrence sur son territoire et favorise la baisse des prix attendue par la privatisation⁴⁴. Cette nouvelle configuration, étroitement surveillée par le gouvernement, lui reste donc bénéfique.

Elle témoigne aussi d'un style politique britannique relativement directif dans le secteur de l'énergie. Londres privatise, mais continue de cadrer les activités et les rapports de force des acteurs industriels. Exiger une cession d'actifs pour éviter le monopole d'un acteur est un des instruments d'action publique dont le gouvernement dispose avec une toute une panoplie de mesures financières (Rodriguez, 1987).

II.1. La banqueroute, porte d'entrée des financiers

Surprenant à la fois les milieux financiers et politiques, la centrale fait faillite en 2002, soit seulement trois ans après la reprise par AES. Le financement de projet par des acteurs privés, experts dans ce type de reprise ainsi que l'importance stratégique de la centrale « *too big to fail* », la mettait à l'abri de la banqueroute pour tous les observateurs de l'époque. Les hypothèses de robustesse économique du business model ont été surévaluées, la dépendance de la production aux conditions de marché et aux acteurs privés ont été sous-estimées au moment de l'acquisition. En 1999, le Wall Street Journal avait interrogé des analystes en charge du dossier de la vente à AES qui s'étaient montrés confiants sur le succès de l'opération à court et moyen termes. À long terme, la baisse du prix de l'électricité pouvait être compensée par de bonnes protections sur les marchés.

⁴³ Archives de la société DRAX sur l'histoire de la compagnie :

<https://archive.ph/20130505171449/http://www.draxgroup.plc.uk/aboutus/history/>

⁴⁴ Gow, David & Martinson, Jane, Power in US pays £1,9bn for Drax, The Guardian, Thursday 19 August 1999

The near-term outlook for the Drax plant is good, downward pressure on electricity prices in Britain raises concerns about its longer-term prospects though. The transaction is going to be very earnings enhancing up front [for AES]. The question is how valuable the plant is if market prices drop a lot. [It] would depend on how well AES has hedged itself against such a downside. [Steven Fleishman, an analyst with Merrill Lynch, propos recueillis par Martha Brannigan, The Wall Street Journal, 1999]

Cet évènement inattendu annonce le début de grands changements. Les configurations d'acteurs relativement stables jusqu'à présent sont bousculées, personne ne voulant être associé à une faillite. Les représentations sur l'électricité fossile sont fragilisées, car celle-ci apparaît de moins en moins comme un vecteur de croissance économique. La matérialité devient encombrante, car il n'est pas facile de démanteler une si grosse unité de production. Le style politique qui a mené à la privatisation de cette centrale interroge, car en coulisses l'État s'investit davantage.

Avant d'entrer plus en détail dans les conséquences de cette banqueroute, intéressons-nous aux causes de celle-ci. À cette époque, les acteurs ont formulé trois hypothèses qui si elles ne s'étaient pas effondrées garantissaient la stabilité du contexte opératoire. La première de ces hypothèses était la limite basse du prix de vente de l'électricité sur le marché de gros britannique estimée à £25/MWh. Or le calendrier de la libéralisation du marché et son ouverture aux consommateurs particuliers, encouragés à changer massivement de fournisseurs pour bénéficier de meilleurs prix impactèrent plus significativement que prévu les prix à la baisse.

Between 1995 and 2002, average annual residential electricity prices, including VAT, fell by 27% in real terms, while for the industrial consumers, prices fell about 38% over the same period. Compared to 1990, the year of the beginning of the electricity reforms, average electricity prices in 2002 were 42% lower for the industrial sector and 26% lower in the residential sector (Ferreira et al, 2005).

Cette contraction du prix qui peut aller jusqu'à 42 % dans certains cas, descendant bien en dessous des £25, engendre logiquement une chute du chiffre d'affaires de la centrale. Mais cette circonstance à elle seule n'explique pas l'échec du montage financier de la privatisation. Les assurances financières et commerciales contractées par AES pouvaient encore empêcher la faillite.

Pour se protéger, AES ne vendait pas directement sa production aux consommateurs finaux, mais à un grossiste américain : TXU Europe, la branche européenne de Texas Utilities. La deuxième hypothèse était donc que dans le cadre de ce contrat entre Drax et TXU, un prix de vente minimum était garanti, quels que soient les aléas du marché. En échange d'une garantie sur les volumes

d'électricité, TXU offrait un CfD (Contract For Difference), un instrument financier très important dans l'intérêt de l'acquisition par AES et les banques de financement. Cet outil sépare le risque sur la volatilité du prix entre deux parties, une partie porte le risque d'un prix fixe et l'autre se charge du prix volatil. C'est-à-dire que, quel que soit le prix de revente aux particuliers, le grossiste garantit un prix d'achat constant au producteur. Au moment, de l'acquisition, un tel contrat a fortement rassuré AES et les banques sur la robustesse du business model de la centrale. Ainsi, en cas de chute significative des prix sur le marché, TXU garantissait toujours un montant minimum d'achat pour assurer une bonne rentabilité.

La troisième hypothèse était évidemment que ce CfD ne pouvait pas être rompu. D'abord parce que TXU avait « les reins solides » avec plus de 5,5 millions de clients sur lesquels la compagnie répartirait les pertes en augmentant légèrement leur facture avec un paiement différé. Si cette manœuvre commerciale ne suffisait pas alors le risque de poursuites juridiques et l'impact sur la réputation dissuaderaient TXU de se retirer du contrat.

Enfin, dans le cas extrême où les menaces de poursuites ne suffiraient pas à garantir le maintien d'un prix minimum d'achat, l'importance stratégique de la centrale dans le mix énergétique national obligerait le gouvernement britannique à intervenir directement.

And politically, that might not be something that TXU would want to do or would allow to happen or the British government would allow to happen. There would be some kind of arrangement that somewhere between AES, TXU and the British government, somebody will come in and save the day. [Propos recueillis auprès d'un banquier, Auclair 2022]

Ces trois hypothèses posées lors de l'acquisition de la centrale de Drax se sont toutes avérées fausses en 2002. La chute des prix de l'énergie sur une longue période de temps, vécue comme une crise avec la faillite du courtier américain Enron, a finalement conduit au retrait de TXU du marché européen pour conserver ses actifs aux États-Unis⁴⁵. Sans CfD, la centrale est devenue insolvable, les dépenses dépassaient largement les revenus et le propriétaire AES n'était alors plus en mesure de rembourser ses dettes⁴⁶.

The banks and bondholders, which were owed around £1.2bn, agreed not to force Drax into administration on condition that AES entered restructuring talks. This involved a £1bn debt-for-equity swap. But after nine months of negotiations – during which AES lost millions running Drax – the company believes it is unlikely ever to reach an agreement with its

⁴⁵ TXU abandons British Energy Market, The Guardian, David Teather, Octobre 2002

⁴⁶ Hirst, Clayton, "AES writes off £1,8bn as it hands over Drax Power Station to its creditors", The Independent, Sunday 3 August 2003

creditors. There is no prospect of an agreement. The banks and the bondholders seem unable to make a decision. [À senior source, propos recueillis par Clayton Hirst, The Independent, août 2003]

La procédure classique dans ce cas est de déclarer la compagnie en faillite et de la liquider, ce qui est une procédure légale, mais en 2002, les banques ont alors réagi de manière inattendue en devenant propriétaire de la centrale. Considérant que celle-ci continuait de produire des revenus, même insuffisants, les banques ont voulu récupérer la centrale marquant définitivement la banalisation de cette centrale comme d'un simple actif. AES désirant conserver ses ressources a finalement accepté de leur céder la propriété. Jusqu'à présent tous les propriétaires étaient de près ou de loin des énergéticiens, or la faillite les a tous exclus. Les financiers-créanciers deviennent les nouveaux propriétaires exclusifs de la centrale, après avoir restructuré la dette et accordé plus de souplesse au modèle d'affaires.

In November 2002, AES defaulted on the financing obligations which effectively placed AES Drax under the control of the creditor banks and bond holders. Since November 2002, AES Drax has been operated as a merchant plant by AES, separately from the other AES stations in England & Wales, under a trading policy agreed with creditor banks and bond holders. In effect, AES no longer has any control over AES Drax. [Extrait d'un rapport de l'autorité de la concurrence britannique, 27 octobre 2003]

Ainsi le troisième transfert bouleverse radicalement la configuration d'acteurs en introduisant un consortium d'une vingtaine de banques présidé par la Deutsche Bank et toutes propriétaires d'une part de la dette, devenue dans l'expropriation une part de l'actif. La direction de l'usine n'a pas été mise en cause dans la faillite et a donc pu continuer à diriger l'entreprise⁴⁷.

II.2. L'intégration verticale du business-model, une illusion de sécurité ?

Dans les deux années qui ont suivi ce changement de propriétaire, les prix du charbon sont restés constants (graphe ci-dessous), contrairement à ceux du gaz ou du pétrole, alors que le prix de l'électricité sur le marché de gros a augmenté (entre 14 % et 36 % au Royaume-Uni)⁴⁸. L'investissement risqué, est finalement devenu très rentable pour les banques grâce à cette nouvelle conjoncture économique. Cet épisode illustre néanmoins la grande sensibilité financière de la

⁴⁷ Rapport au gouvernement britannique sur la vente de Drax par AES en 2003 : <https://www.gov.uk/cma-cases/international-power-plc-aes-drax-holdings-ltd>

⁴⁸ Electricity prices in the EU25 in January 2006, Eurostat, News release, Stat/06/93, 14 July 2006

centrale aux conditions d'un double marché très volatil de l'offre pour l'approvisionnement en combustible et de la demande pour le prix de l'électricité.

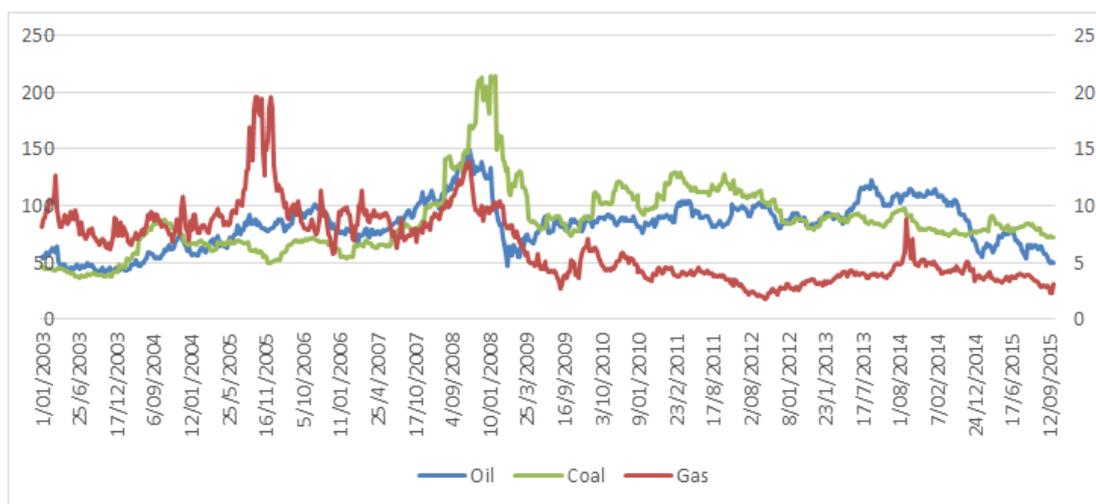


Figure 19 : Évolution des prix moyens des hydrocarbures en \$/tons entre 2003 et 2015, en vert - le charbon (Zahid Hasan ; 2017)

L'intensité de cette sensibilité n'était pas forcément évidente à remarquer, car avec ses proportions, la centrale risque de tromper les analystes sur la robustesse de son modèle économique. Lors de l'acquisition par AES en 1999, les banques ont structuré leur prêt en la considérant comme une entreprise verticalement intégrée, qui est généralement plus solide aux variations des marchés. Une entreprise verticalement intégrée dispose, en interne, d'une ou plusieurs unités de production d'électricité et d'un réseau de distribution de son électricité, jusqu'aux consommateurs finaux ou est aussi propriétaire de sa source de matière première. Dans ce modèle d'affaires, l'entreprise possède une large partie de la chaîne de valeur de son outil de production garantissant un plus grand équilibre financier. Or la privatisation des années 1990 a fait éclater en différentes entités ces chaînes de valeur dans les pays occidentaux pour introduire de la compétition et faire baisser les prix. Drax est le résultat de cette manœuvre de libéralisation et hérite d'un modèle plus étroit avec seulement des unités de production dépendant toutes d'une seule source de combustible, le charbon, et sans réseau de distribution.

Toutefois, la présence de six fourneaux assure une continuité de production avec un facteur de capacité moyenne supérieure à plus de 80 %. Cette disponibilité, plus grande que la moyenne, a été considérée comme un ersatz de diversification de *business* justifiant un montage financier usuellement adapté à des *business models* plus robustes. La capacité de production répartie entre plusieurs unités étant un avantage considérable pour attirer les investisseurs, la matérialité même de la centrale, indépendamment du type de combustible ou de son *business model*, semble être économiquement avantageuse.

Cette grande disponibilité de production donnait un avantage certain à Drax dans le contexte d'une stagnation des moyens de production. Aucun projet de nouvelle infrastructure n'était envisagé qu'il soit nucléaire, à gaz ou à charbon et toutes les projections faisaient croître la demande d'énergie alors une telle capacité attirait les investissements. Ajoutons également qu'au moment de la privatisation, le prix du charbon était bas et les réglementations environnementales n'étaient pas aussi strictes qu'elles le sont aujourd'hui.

Alors sans aucune garantie gouvernementale, les banques ont accepté de financer le fonctionnement de la centrale avec deux fois plus de dettes que pour une entreprise verticalement intégrée classique, augmentant d'autant le risque de banqueroute. Ce choix illustre une grande confiance dans la rentabilité de l'actif sur le long terme, mais aussi un modèle économique qui n'est pas auto-suffisant et reste fortement dépendant de financement extérieur qu'il soit public ou privé.

So even though Drax was in 2004 a single fuel standalone generator with a lot of debt, meaning a very levered capital structure in a competitive generation market, there were no government guarantees there, the physical supply and demand for power could go up, it could go down. Anybody could build a CCGT, an onshore wind farm, and Drax had to compete for that market with them. It was crazy when I look back what the banks agreed to and what was possible back then, but crazy in a positive way. Drax is business at [debt to equity of 2 to 1]. But your question was: what is normal? If you take a very stable state-owned integrated utility, I think, to the environment, which is, you know, a safe credit, I think your debt to equity would not be more than 1 to 1. [Propos recueillis auprès d'un banquier, Auclair 2022]

II.3. Une nouvelle configuration d'acteurs pour une nouvelle représentation

Le financement de la centrale ayant toujours été un problème, l'équipe de direction a, pendant ces deux années très rentables pour le consortium bancaire, réfléchi à un nouveau plan de financement pour s'émanciper des banques. L'introduction à la bourse de Londres (London Stock Exchange) est alors apparue comme un bon moyen sinon le meilleur pour lever du capital et abaisser la dette. Jouant alors son indépendance, l'équipe de direction a dû inventer un nouveau récit pour attirer les investisseurs.

Pour ce faire, elle élabore un nouveau récit en 2005 qui pose les bases sur lesquelles la conversion BECCS prendra racine. Tout en reconnaissant l'impact environnemental de l'infrastructure, la

direction promet des innovations technologiques pour garantir la durabilité et la rentabilité de l'action. L'installation des filtres FGD suivant les régulations sur la qualité de l'air est utilisée comme un précédent pour démontrer la capacité de la centrale à se renouveler. Malgré les millions de tonnes de CO₂ émises par an, la société va même clamer sur son site Internet qu'elle était la plus propre des centrales à charbon dans les années 1990⁴⁹.

L'histoire officielle de cette nouvelle configuration d'acteurs montre une centrale qui, loin de se transformer sous le coup des régulations environnementales ou d'avoir une grande fragilité financière, est à l'inverse capable d'initier sa propre transformation. Deux transformations sont alors envisagées, d'abord, la transition vers la combustion de la biomasse qui est testée dès l'été 2004⁵⁰ et ensuite l'ajout d'une unité CCS avec la réponse positive à une consultation gouvernementale en 2006⁵¹. Cette capacité à se transformer doit technologiquement assurer à la fois le respect de l'environnement et une plus grande stabilité financière.

Drax Group is currently undergoing a refinancing, with the aim of getting a listing on the London stock exchange by the end of this year. On 12 September. [...] Drax describes itself as the cleanest coal plant in the UK, being the first to retrofit flue gas desulphurisation (FGD) equipment, over the period 1988. It also has a major programme underway to reduce NOx emissions, with the EU's Large Combustion Plant Directive becoming effective from 1 January 2008. Drax has also been actively seeking alternative fuels, notably biomass and petcoke, a main aim being to provide increased protection from possible future market fluctuations, be it another collapse in power price or increasing fuel costs. [Extrait de « Drax goes for growth », revue spécialisée Modern Power Systems, 1^{er} octobre 2005]

De l'attrait de ce récit dépendra le succès de l'introduction en bourse et donc la survie financière de la centrale, ce dont il a toujours été question. Les nouveaux propriétaires de Drax promettent une rentabilité certaine à leurs investisseurs par des actions sur les trois leviers à leur disposition. En s'assurant une nouvelle source de revenus avec des certificats carbone, ils pressent le levier commercial. La transformation doit aussi être technologique, car il faut adapter les brûleurs au nouveau combustible et enfin logistique, car ils diversifient leurs sources d'approvisionnement. Sans réellement modifier les stratégies précédentes, ce récit a l'avantage d'ancrer la centrale dans

⁴⁹ Archives de la compagnie DRAX sur sa propre histoire : <https://www.drax.com/about-us/our-history/>

⁵⁰ *Drax goes green with willow*, The Guardian, David Willow, 19 Mars 2004

⁵¹ « Carbon Capture and Storage: a consultation on barriers to commercial deployment », HM Treasury Consultation Document, May 2006.

un agenda plus vert et plus durable pour contrer l'impopularité croissante des énergies fossiles et du charbon en particulier.

When you go public, you need to find shareholders, you need to give them a story. They said we will be a forever business, that understand that SOx and NOx are an issue, but we've solved that through the FGDs. We understand that was the LCPD work and then there was a carbon tax, obviously, and they said 'Obviously we are carbon emitters and we've done projections for the carbon certificates that we need to be buying and in order to reduce the exposure and to show you that we are pro environmental agenda as opposed to Exxon. We are on the right side of history. We will look into biomass and we will start to reduce our carbon footprint'. [Propos recueillis auprès d'un banquier, Auclair 2022]

Mais acquérir la confiance des actionnaires pour l'introduction à la bourse de Londres n'est pas la seule raison pour laquelle la direction de Drax a engagé cette *reconfiguration* vers la biomasse ou le CCS. Ces deux technologies permettaient aussi d'échapper aux augmentations du prix du carbone (Aykut, 2014) sur le marché du carbone européen, dont le Royaume-Uni était encore membre au début des années 2000. Les revenus déjà insuffisants seraient amputés par des pénalités proportionnelles aux émissions fossiles de la centrale, rendant l'actif plus déficitaire. Ce changement de représentation de l'énergie trouve aussi ses racines dans l'internalisation d'un facteur extérieur contraignant.

[The CEO in 2003] came with the ambition to decarbonize the power station because she saw where the EU ETS was going. The sheer scale of the carbon emissions from Drax power station on coal was going to cripple the business case and therefore she saw that coming and so wanted to decarbonize the power station and saw biomass as a viable way to do that. [Propos recueillis auprès du directeur de l'innovation de Drax, Auclair 2022]

L'introduction d'une mesure politique supranationale pour les émetteurs de dioxyde de carbone a donc motivé la mise en œuvre d'une stratégie de décarbonation autant que la nécessité de convaincre les futurs actionnaires. Dans cette explication, la raison économique reste présente, mais la raison environnementale s'introduit également. Une autre raison vient s'ajouter à celles-ci pour justifier les futures transformations technologiques, nécessaires pour prolonger la durée de vie de la centrale dans un nouvel environnement légal.

Bien plus que les dynamiques internationales, la politique nationale impacte aussi la forme de Drax. La décision britannique de sortir du charbon, annoncée en novembre 2015 par le gouvernement, mais envisagée depuis bien plus longtemps, a été autant motivée par la lutte internationale contre le réchauffement climatique que par l'obsolescence prochaine d'un parc de centrales vieillissantes⁵². Drax étant à la fois la plus massive et la plus récente des centrales, elle a été « forcée » par le gouvernement de se convertir.

The government was looking to phase out coal and therefore the life span of the power station was going to be limited by that coal closure. Being forced by the UK government, by converting to biomass and a bet in our carbon emissions, we had effectively removed the end stop of our operations so we can continue past 2024. [Propos recueillis auprès du directeur de l'innovation de Drax, Auclair 2022]

Government would never come out with an announcement saying they're closing coal fired power stations as a surprise. This the sort of long period leading up to that in the same way that the oil and gas industry exists now, but they know they have to decarbonise. There's been a long period of discussion and they're doing a lot of thinking about how to do that. [Propos recueillis auprès d'un responsable des relations publiques de Drax, Auclair 2022]

Ajoutons également qu'en politique intérieure, le gouvernement britannique publie en 2003 un livre blanc sur l'énergie dans lequel il établit une stratégie pour réduire ses émissions de carbone de 60 % à l'horizon 2050⁵³. Cette feuille de route s'accompagne de mécanismes de financement tels que les ROCs, dont nous parlerons dans la suite et d'estimations ambitieuses sur les capacités de biomasse déployables allant jusqu'à 10 % du mix en 2050⁵⁴.

⁵² Littlecott, Chris. « UK Coal Phase Out: The International Context », Briefing Paper E3G, Novembre 2016

⁵³ DTI, 2003. Our Energy Future: Creating a Low Carbon Economy. Energy White Paper.

⁵⁴ Oxera, 2002. Regional renewable energy assessments A Report to the DTI and the DTLR, Oxera Environmental and Arup Economics & Planning

III. 2005-2015 : Stocker le carbone, une démarche hasardeuse au Royaume-Uni

III.1. Le captage et stockage de carbone, une reconfiguration qui n'était pas prête

La conversion à la biomasse apparaît alors comme une solution attractive pour Drax, mais une autre trajectoire de transformation technologique semble prioritaire. En effet, dès le début des années 2000, le gouvernement britannique pense que l'ajout d'unité de captage et de stockage de carbone sur les centrales à charbon sera plus simple que des conversions massives à la biomasse. Ce choix s'explique certainement par la dépendance au sentier repérée durant la première période. Le CCS faisant principalement appel à des savoir-faire tant techniques que législatifs issus de l'exploitation pétrolière que le chemin apparaissait plus simple pour les décideurs. De plus, la conversion à la biomasse posait la difficulté de son approvisionnement alors que le Royaume-Uni a matériellement de grands gisements déplétés dans lesquels le stockage du carbone serait possible.

Toutefois en 2006, quand le gouvernement organise une consultation auprès des acteurs industriels sur les obstacles au déploiement du CCS. Drax répond que la raison économique est le principal obstacle avec un coût de déploiement dissuasif dans les conditions de marché de l'époque.

Under present market conditions, CCS is not financially viable with costs ranging from £30 to £90 per tonne of CO2 reduced, depending on whether enhanced oil recovery (EOR) is involved.⁵⁵

La réponse pointe également les nombreuses incertitudes sur l'efficacité et le coût des technologies de captage, ainsi que sur le cadre légal encore incertain du stockage de carbone. Cette consultation émise par le gouvernement en amont de la promulgation d'une première loi de réduction des émissions de gaz à effet pour l'État en 2008 : *le Climate Change Act* devait guider l'application de cette loi. En plus des objectifs de réduction, la loi crée le *Climate Change Committee*, un organe consultatif indépendant pour conseiller le gouvernement sur la trajectoire à suivre. Le premier rapport de ce comité mentionne clairement la nécessité de limiter les émissions dues au charbon.

⁵⁵ Carbon Capture and Storage: A consultation on barriers to commercial deployment HM Treasury Consultation Document, March 2006 A Response by Drax Power Limited May 2006

There is a strong case for establishing a clear and publicly stated expectation that coal-fired power stations will not be able to generate unabated beyond the early 2020s.⁵⁶

En 2008, le charbon, qui est la source d'énergie fossile la plus polluante, produit plus du tiers de la production électrique du Royaume-Uni, presque autant que le gaz. Agir sur le charbon est donc un levier facilement identifié pour réduire rapidement les émissions. Toutefois, étant donnée l'importance stratégique de l'approvisionnement électrique charbonné, la fermeture pure et simple des centrales semble absolument impossible. C'est pourquoi le comité recommande de faire du CCS une priorité pour les centrales existantes comme pour les nouvelles.

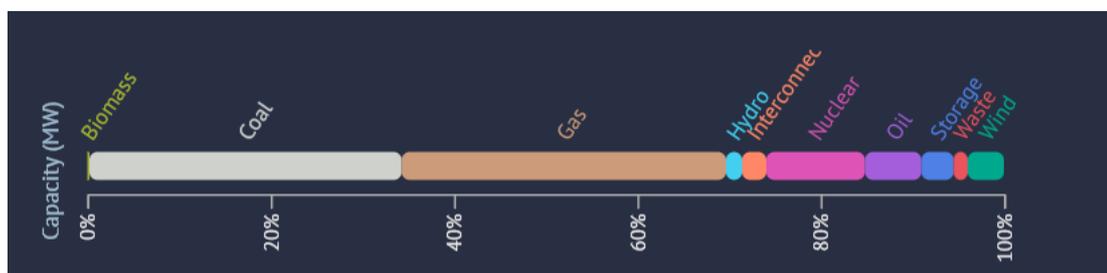


Figure 20 : Sources de production électrique au Royaume-Uni en 2008, CarbonBrief.org

Emboîtant alors le pas aux eurodéputés, qui votèrent une loi rendant illégale la construction de nouvelles centrales à charbon sans unité CCS après 2015⁵⁷, le Royaume-Uni interdit en avril 2009 la construction de nouvelles centrales sans unités CCS⁵⁸ et oblige en juin les centrales existantes à prévoir l'addition d'une unité CCS pour le début des années 2020 faute de quoi elles devront fermer⁵⁹. Cette décision traduit non pas un changement de représentation sur le charbon qui est toujours vu comme d'une bonne source d'énergie pour la croissance économique, mais l'ajout d'une nouvelle représentation par-dessus de la dimension néfaste de cette énergie pour le climat.

Le plan du gouvernement britannique est alors de continuer à construire des capacités de production d'énergie fossile pour satisfaire la demande croissante en électricité tout en respectant ses engagements de réduction de gaz à effet de serre dans les délais⁶⁰ grâce à l'adjonction du CCS. La voie d'une reconfiguration technologique du système de production est largement privilégiée aux dépens de nouvelles manières de consommer ou de l'introduction de nouvelles technologies encore

⁵⁶ Building a low-carbon economy – the UK's contribution to tackling climate change, Committee on Climate Change, December 2008

⁵⁷ « Euro Parliament votes to make carbon capture and storage compulsory », Professional Engineering, p.8, 15 octobre 2008

⁵⁸ Carrington, Damian. "No new coal without carbon capture, UK government rules", 23 avril 2009, The Guardian

⁵⁹ Macalister, Terry., "Carbon capture plans threaten shutdown of all UK coal-fired power stations", 17 juin 2009, The Guardian

⁶⁰ UK Climate Change Programme, 2008 & UK Parliament Environmental Audit Committee, 2008

incertaines. De plus, la construction d'une capacité de production équivalente à partir d'énergie nucléaire ou éolienne nécessiterait quelques dizaines d'années. Il en résulte que le choix du CCS sur les centrales à charbon apparaît donc rapidement sans alternatives (Callum, 2012).

D'autant qu'à cette époque encore, le charbon apparaît comme une source d'énergie économiquement compétitive et largement disponible comme le rapporte Mike Stephenson, le directeur scientifique de l'institut géologique britannique (BGS) de l'époque.

Coal is going to be available as a source of energy for at least another century and countries like China, India and Russia have particularly rich resources. It does not matter what we say in the west about they should do, they will always want to exploit their coal. If it is in the ground, people will always be tempted to use it. The only way around the problem is to make the use of coal safe and environmentally friendly. [Mike Stephenson, head of science at the British Geological Survey. Propos recueillis par Robin McKi, 15 février 2009]

En plus d'une conjoncture économique favorable pour le charbon, les sources de production d'énergie concurrentes étaient marginalisées pour des raisons politiques ou économiques. Les programmes nucléaires britanniques ont été progressivement abandonnés au début des années 1990 à cause d'une série de scandales autant politiques et que publiques, faisant suite à la publication des coûts de construction et d'exploitation, lors de la privatisation de l'ESI (Electricity Supply Industry), l'équivalent britannique d'EDF (Winkel, 2002). Le développement de l'énergie éolienne qui gagne de l'intérêt étant donnée la géographie de la Grande-Bretagne est encore balbutiant. La faisabilité économique de cette source d'approvisionnement ainsi que sa fiabilité dans le temps laissent envisager plusieurs années avant un déploiement susceptible de remplacer le charbon (Cradden, 2009) en quantité d'énergie produite.

Dans ces conditions, la stratégie britannique est de construire de nouvelles centrales à charbon jugées fiables et bon marché tout en évitant de nouvelles émissions de carbone pour les décennies à venir. Pour relier ces deux besoins contradictoires, le concept de « *capture ready* » fait son apparition dans les discours et dans la loi. L'idée est d'incorporer dès la construction dans le design des nouvelles centrales la possibilité d'ajouter des équipements de captage de carbone (Markusson et al, 2010). Suivant de près la décision de Bruxelles⁶¹ de 2008, Londres publie aussi une directive nationale en novembre 2009 et ajoute que le « *capture ready* » doit être un tremplin pour un

⁶¹ European Parliament, 2008. Geological storage of carbon dioxide. Text adopted at the sitting of Wednesday 17 December 2008, P6_TA-PROV12-17, Brussels, Belgium

déploiement plus large du CCS⁶². Pour le gouvernement, il s'agit de se prémunir à moindre coût de nouvelles sources d'émissions inamovibles dans un régime de production électrique très dépendant des énergies fossiles et d'éviter de retarder encore la réalisation des objectifs de réduction de gaz à effet de serre.

D'un point de vue politique, cette mesure ouvre une porte de sortie sur les controverses liées aux investissements dans la construction de nouvelles centrales à charbon sans unités CCS. L'année de naissance du concept verra aussi l'annonce de la construction de cinq nouvelles centrales à charbon dites évidemment « capture ready ». Le « capture ready » agit donc à la fois comme une assurance contre les émissions de gaz à effet de serre, un stimulateur de développement pour le CCS et un moyen de légitimer à nouveau l'usage du charbon comme source d'énergie. Toutefois, vouloir légiférer sur une technologie qui n'a pas encore fait ses preuves n'est pas sans risque. Face à des difficultés juridiques, techniques, économiques et sociales, le concept de « capture ready » sera enterré peu de temps après sa naissance.

D'abord, la définition du concept restera floue et les exigences associées pour les acteurs industriels également. Ainsi, son application légale sera compliquée et une grande variabilité dans le niveau de captage attendu (Markusson et al, 2008) sera introduite. Cette variabilité qui dépend principalement des capacités techniques et économiques des opérateurs énergétiques à mettre en œuvre le CCS sera à l'origine des importantes manifestations écologistes autour du projet de Kingsnorth. Des cinq nouvelles centrales portées par les grandes compagnies énergétiques du Royaume-Uni, la plus médiatisée est sans aucun doute celle d'E.ON à Kingsnorth dans le Kent.

Sur le même schéma que le camp climatique dressé en 2006 à côté de Drax, une centaine de manifestants écologiques vont dresser aux abords de la centrale de Kingsnorth un *Camp For Climate Action* en août 2008. L'objectif était d'empêcher la construction d'une nouvelle centrale à la place de celle déjà existante qui arrivait à sa fin. Au-delà de la centrale, le camp avait aussi vocation à sensibiliser sur les dangers du réchauffement climatique et de montrer un modèle de vie plus écologique débarrassé de l'usage des énergies fossiles⁶³. En dix jours, le mouvement prend de l'ampleur avec plus de 1000 activistes et 1500 policiers mobilisés. Comme pour Drax deux ans auparavant, le point culminant de la manifestation fut la tentative d'effraction dans le centre de contrôle de la centrale pour en arrêter le fonctionnement par une dizaine de manifestants. Lors de

⁶² Department of Energy and Climate Change (DECC), 2009b. Carbon Capture Readiness (CCR). A guidance note for Section 36 Electricity Act 1989 consent applications.

⁶³ Horn Jenni, Kingsnorth Climate Camp marks 10th anniversary of power station protest, Kent Messenger, 2 août 2018

cette opération qui a fait la une des médias nationaux, plus d'une cinquantaine de personnes sont arrêtées⁶⁴. Bien que la centrale ait continué normalement, les revendications des manifestants ont largement dépassé la contestation locale pour critiquer aussi les promesses irréalisables du « capture ready » et de son application technique : le CCS.

En effet, sur le terrain, le « capture ready » semble impossible à mettre en œuvre dans les délais. Il ne s'agit pas seulement d'une adaptation technique, comme des tuyaux à connecter entre eux, c'est aussi un problème d'organisation et de coordination entre les différents acteurs de la chaîne de valeur du CCS. Le captage, par exemple, est une affaire de chimistes qui impliquent des compétences et des moyens différents de ceux du transport qui appartiennent plus aux opérateurs de pipeline sur la terre et à la marine marchande sur la mer. Enfin, le stockage nécessite de faire appel à des géologues ou des ingénieurs spécialisés dans la gestion des réservoirs. Organiser cette chaîne de valeur et investir dans la formation du personnel sont des obstacles tout autant considérables que la construction de l'infrastructure physique du CCS. Ainsi, ce concept apparaît comme une tentative de réconciliation entre deux représentations contradictoires de la production énergétique plutôt que comme un plan concrètement applicable⁶⁵.

Cette incertitude fait donc réagir les associations environnementales qui jugent sévèrement le « capture ready ». Elles critiquent le risque accru de verrouillage technologique dans un système de production d'électricité fossile, le manque d'engagement concret pour les exploitants des centrales à charbon notamment sur les délais de déploiement et l'immaturation de la technologie CCS pour ce type d'usage⁶⁶ comme l'explique Keith Allot, directeur à WWF en 2008 :

There's no deadline for conversion to full scale CCS, let alone any guarantee that this would then be met. Reliance on an as yet unproven technology, however promising it may be, is a risky business – the future of the planet's climate cannot rely upon good intentions.

La politique du « capture ready » à défaut d'être vraiment *ready* a au moins révélé la discordance entre les opposants et les promoteurs du CCS sur la maturité de cette technologie. En prenant comme exemple les dispositifs fonctionnels norvégiens de Sleipner et Snohvit, les acteurs industriels ont affirmé que la technologie du CCS n'était plus au stade du prototype et pouvait être déployée

⁶⁴ Evans Rob & Lewis Paul, Kingsnorth: How climate protesters were treated as threat to the country, The Guardian, 26 octobre 2009

⁶⁵ Ibid.

⁶⁶ Allot, Keith and Kaszewski, Andre "Evading capture, Is the UK power sector ready for carbon capture and storage?", WWF-UK Briefing Paper, 21 mai 2008

immédiatement à une échelle industrielle. Or ces deux unités CCS en plus d'avoir été réalisés dans des conditions économiques, techniques et politiques très particulières, ne sont pas une intégration complète du CCS, mais seulement quelques composants de celui-ci. Par exemple, les lieux de production et de stockage sont très proches donc la problématique du transport de carbone est virtuellement inexistante. De plus, les techniques de captage mises en œuvre à ce moment sont des techniques de séparation classiques de gaz liquide alors que pour les centrales à charbon, il faut déployer des technologies de captage et de séparation de gaz de combustion volatil, ce qui est plus complexe et par conséquent plus onéreux (Markusson et al., 2010).

En 2010, des chercheurs anglais ont évalué la maturité de chaque composant du CCS et leur constat montre que la majorité des technologies de captage, transport et stockage n'étaient pas encore déployables à grande échelle. La plupart d'entre elles étaient encore en phase de démonstration ou ne pouvaient être réalisées que dans des conditions économiques très particulières qui ne correspondaient pas à celles qui avaient alors cours à cette époque.

CCS component	CCS technology	Demonstration phase	Economically feasible under specific conditions	Mature market
Capture	Industrial separation (natural gas processing, ammonia production)			X ^b
	Post-combustion		X	
	Pre-combustion		X	
	Oxyfuel	X		
Transportation	Pipeline			X ^c
	Shipping		X	
Geological storage	Enhanced Oil Recovery			X ^d
	Gas or oil fields		X	
	Saline aquifers		X	
	Enhanced Coal Bed Methane recovery	X		
System integration		X		

Figure 21 : Évaluation de la maturité des composants du CCS (Markusson, 2010)

Face à l'absence de ces conditions économiques favorables à cause de la crise des subprimes et de la récession qui s'ensuivit, l'opérateur E.ON finit par abandonner ce projet⁶⁷. Cette décision a eu un

⁶⁷ Adam, David & Tran, Mark ; Kingsnorth power station plans shelved by E.ON, The Guardian, 7 octobre 2009

impact sur l'ensemble du programme de « *capture ready* », car après l'arrêt de la construction de Kingsnorth, aucune autre centrale au charbon avec ou sans CCS n'est planifiée au Royaume-Uni comme le confirme John Sauven, le directeur de Greenpeace.

This development is extremely good news for the climate and in a stroke significantly reduces the chances of an unabated Kingsnorth plant ever being built. The case for new coal is crumbling, with even E.ON now accepting it's not currently economic to build new plants.
[John Sauven, directeur de Greenpeace, propos recueillis par David Adam, 2009]

Toutefois, le CCS en association avec d'autres sources d'émissions reste possible au Royaume-Uni, car la contestation, contrairement au reste du continent européen, s'est principalement portée sur l'utilisation du charbon et non sur le stockage en lui-même. Ainsi le CCS va rapidement être repensé avant de reparaitre quelques années plus tard. C'est la compagnie Drax, qui cette fois, sera en première ligne avec un projet de centrale à gaz équipée d'une unité CCS en oxy-combustion, plus économique que la solution de captage de Kingsnorth.

III.2. Le projet White Rose, de nouvelles techniques et de nouveaux acteurs

Pendant les tentatives de reconfiguration du « *capture ready* », la direction de Drax n'a pas présenté de projet pour installer d'unité CCS, mais il est certain que cette idée a attiré l'attention de la direction de la centrale. Puisqu'elle candidatera à un appel à financement du gouvernement en 2013 et sera retenue pour le projet *White Rose*. Ce projet introduit surtout des changements dans les configurations d'acteurs, dans le style politique et dans les formes de soutien propres au suivi de cette technologie.

Le 3 avril 2012, le gouvernement britannique par la voix de son secrétaire d'État à l'Énergie et aux changements climatiques Edward Davey annonce le lancement d'une nouvelle compétition commerciale pour le CCS. Cette fois, l'objectif visé par les autorités publiques est différent du premier type de soutien, car ils ne visent plus simplement à aider les centrales à charbon individuelles à s'équiper de CCS, mais à développer directement une infrastructure mutualisée de CCS. Pour rendre la technologie économiquement plus intéressante, la notion de *clusters* mêlant différents types d'industries énergétiques ou lourdement émettrices fait son apparition comme le présente Edward Davey lors de l'annonce du projet.

What we are looking to achieve, in partnership with industry, is a new world-leading CCS industry, rather than just simply projects in isolation – an industry that can compete with other low-carbon sources to ensure security and diversity of our electricity supply, an industry that can make our energy intensive industries cleaner and an industry that can bring jobs and wealth to our shores. [Edward Davey, discours de présentation du CCS Commercialisation Programme le 3 avril 2012]

Avec une dotation supérieure à un milliard de livres pour la conception, la construction et les opérations du CCS, cette compétition particulièrement attractive attire quatre participants. Parmi eux, le gouvernement britannique en retient deux : le projet écossais de Peterhead à Aberdeen et le projet anglais White Rose à côté de Drax dans le Yorkshire. À Peterhead, *Shell* et *Scottish and Southern Energy* se sont associés pour équiper une centrale à gaz existante avec une unité CCS. Dans le Yorkshire, c'est une nouvelle centrale à co-combustion au gaz à côté de la centrale existante de Drax qui est envisagée par un consortium alors composé d'*Alstom*, *Drax*, du réseau national d'électricité *National Grid* et de la *British Oxygen Company* (BOC), une compagnie de traitement des gaz industriels⁶⁸.

La centrale de White Rose sera équipée d'une unité CCS avec un processus de combustion innovant. Le carburant sera du gaz naturel, mais son comburant ne sera plus de l'air, mais de l'oxygène pur afin d'améliorer les rendements du captage de dioxyde de carbone. Ce procédé dit d'*oxycombustion* n'a encore jamais été développé à l'échelle industrielle. Les essais en laboratoire ont montré les nombreux avantages de cette technique. La température de combustion augmente ainsi les vapeurs de White Rose pourront atteindre 700 °C, ce qui serait une première mondiale. La production de gaz toxiques comme le N_{ox} est limitée et surtout les fumées sont environ dix fois plus riches en CO₂ que les fumées conventionnelles facilitant d'autant le procédé de captage (Gibbins et Chalmers, 2008).

Ce projet à la pointe de la technologie fait valoir de brillantes promesses d'efficacité en termes de captage de carbone, mais a un coût important en termes d'efficacité économique et énergétique. L'*oxycombustion*, c'est-à-dire l'injection d'oxygène en amont de la combustion nécessite de grandes quantités d'énergie qui est retirée directement du produit de la centrale. Ainsi une centrale à charbon dont le comburant est l'air a un rendement global entre 40 et 45 % alors qu'avec de

⁶⁸ Government Press Release, *Preferred bidders announced in UK's £1bn CCS Competition*, 20 mars 2013, [Department of Energy & Climate Change](#), [The Rt Hon John Hayes CBE MP](#), and [Rt Hon Edward Davey MP](#)

l'oxygène, ce rendement descend à 33 %⁶⁹. Les besoins en eau pour le refroidissement sont aussi proportionnels à la température de combustion plus élevée. Dans le permis environnemental, le débit estimé est de 1400 m³/h soit 30 % de plus qu'une centrale à air classique. Pour capter plus de carbone, les contraintes sur l'eau et l'énergie augmentent d'autant. Néanmoins, la pression de cette centrale sur son environnement reste modeste, car sa capacité est relativement moyenne par rapport à d'autres projets, avec une production brute de 426 MW. Rappelons que la centrale de Drax, juste à côté du projet White Rose a une capacité presque dix fois supérieure avec 3960 MW. C'est pourquoi le risque principal de ce projet n'est pas écologique, mais économique.



Figure 22 : Vue 3D de l'emplacement de la centrale White Rose (à droite) à côté de celle de Drax (à gauche), Peter Emery, 2013

Il est facile de comprendre qu'avec un procédé de production bien plus coûteux que celui d'une centrale à charbon classique en produisant environ 10 % d'énergie en moins, la rentabilité ne sera pas au rendez-vous. White Rose dépendra donc fortement des financements extérieurs pour sortir de terre. Sachant cela, le consortium-porteur du projet a candidaté au programme de financement européen NER300 en 2013⁷⁰. Être financièrement soutenu par son gouvernement national était une des conditions nécessaires pour être récompensé par ce programme de l'UE avec en plus de la nécessité de déployer une technologie innovante comme l'oxycombustion⁷¹.

Depuis la création du fonds NER300, White Rose est le seul projet CCS à avoir sécurisé ce financement. Cette nouvelle fut donc reçue avec beaucoup d'enthousiasme par les porteurs du projet, qui voyaient les besoins financiers être de moins en moins problématiques.

⁶⁹ Doyle, Jim; White Rose CCS Project, Environmental Permit, Chapter XII – Energy Efficiency, p.6; April 2015

⁷⁰ Alstom, Press release, White Rose Application for NER300 Funding, 10 juillet 2013

⁷¹ Åhman, Max, Jon Birger Skjærseth, et Per Ove Eikeland. « Demonstrating Climate Mitigation Technologies: An Early Assessment of the NER 300 Programme ». *Energy Policy* 117 (juin 2018): 100-107.

Située dans le voisinage immédiat de Drax dans une des régions industrielles les plus émettrices de carbone, le Yorkshire et Humber, la centrale White Rose devait être une ancre dans le développement d'une infrastructure complète de transport et stockage de carbone. Celle-ci serait ensuite étendue à toutes les industries alentour et garantir ainsi leur décarbonation comme le mentionne Peter Boreham, le directeur du National Grid en 2014 suite à la réception du financement européen.

It is great news for the project to be selected for the NER300 award. It shows continued commitment to CCS in the UK and Europe and is the next step towards a CCS network in the Yorkshire and Humber region, in which we can provide the infrastructure and storage solution. [Peter Boreham, Alstom Press Release, 8 juillet 2014]

En transformant la configuration d'acteurs dès le début par l'accueil des acteurs non-issus des milieux de la production énergétique comme Alstom ou BOC, a été une stratégie gagnante pour Drax. La mutualisation de l'infrastructure élargit les possibilités de la technologie et permet de convaincre les autorités nationales et locales de « l'utilité publique » du CCS. En décarbonant non pas seulement la production électrique, mais aussi la production de biens, le partage des bénéfices de la décarbonation par CCS s'étend à plus d'acteurs et permet ainsi de jouer sur un pan plus large de l'économie régionale notamment en sauvant plus d'emplois ou en en créant d'autres. Que les externalités positives du CCS soient alors plus justement distribuées à l'échelon local devient un argument fort du gouvernement et de la Commission européenne pour accorder son soutien au projet. C'est encore le ministre de l'Énergie de l'époque qui le dit le mieux :

The White Rose project really offers the potential to kickstart CCS in the region, creating up to 2,000 green jobs. Yorkshire is ideally suited to the development of CCS with lots of large emitters and significant storage space offshore. [Ed Davey, Energy secretary, The Chemical Engineer, 1^{er} février 2014]

Dans cet engouement, Drax, National Grid et Alstom engagent l'étape de FEED (Front Engineering Design) qui est dans la nomenclature de la gestion de projet, l'étape précédant la construction de la centrale. Elle comprend la recherche des fournisseurs et sous-traitants, ainsi que la conception finalisée des installations et l'évaluation détaillée des coûts. Cette étape de concrétisation qui devait durer deux ans commence au début de l'année 2014⁷².

⁷² Drax and the White Rose CCS Project, Department of Energy and Climate Change, 9 décembre 2013

Malgré les progrès, Drax décide de se retirer subitement du projet juste l'année d'après, en septembre 2015. Promettant de terminer sa partie de la FEED, l'entreprise ajoute dans un communiqué de presse qu'elle n'investira pas dans les étapes suivantes, mais reste à disposition du consortium, Capture Power Ltd pour l'usage du terrain et des éventuelles synergies avec la centrale de Drax. Privé d'un partenaire majeur, National Grid et Alstom assurent tout de même qu'ils continueront à travailler pour assurer la livraison de la centrale avec l'appui du programme de commercialisation du gouvernement⁷³.

III.3. La nouvelle centrale sacrifiée sur l'autel de la rentabilité de la vieille centrale

Ce retrait de l'exploitant principal du projet fut causé par un changement radical de l'environnement financier dans lequel le plan d'exploitation avait été conçu et plus précisément sur une modification des règles d'attribution pour l'usage de la biomasse dans la centrale principale. En effet, le gouvernement britannique décide le 22 juillet 2015 d'éviter les « sur-allocations » de subventions aux énergies renouvelables et donc de supprimer les droits acquis dans le *Renewable Obligation Scheme* pour les conversions à la biomasse et les centrales à co-combustion. En se justifiant par le souci de réduire les impôts pour les ménages modestes et les industries (Tisheva, 2016), le gouvernement fait basculer la balance économique de Drax dans le rouge.

Comme nous le présenterons plus précisément dans la quatrième partie, la centrale de Drax entame depuis 2012, en parallèle du projet White Rose, la conversion de son combustible fossile vers la biomasse. Cette opération a été rendue possible grâce aux subventions ROCs dont nous parlerons dans la prochaine période. La part de ces subventions dans la balance commerciale de la centrale n'a fait que croître au fur et à mesure des années jusqu'à atteindre le montant de 516 millions de livres sterling en 2015 et les profits la même année s'élevaient quant à eux à 169 millions de livres⁷⁴. Sans les revenus générés par les ROCs, le bilan financier de Drax serait donc déficitaire. Ces chiffres illustrent encore la sensibilité de la centrale aux décisions du gouvernement britannique et particulièrement à sa stratégie de transition énergétique. La direction de Drax n'a pu que prendre acte de cette décision en évitant des dépenses essentielles dans le projet White Rose et ainsi rester attractive auprès des investisseurs et actionnaires.

⁷³ "Drax pulls out of White Rose CCS project", Carbon Capture Journal, 25 septembre 2015

⁷⁴ Drax Group plc, Annual reports and accounts 2015

The decision to pull out of White Rose CCS project was based purely on a drastically different financial and regulatory environment and we must put the interests of the business and our shareholders first [Pete Emery, Directeur des opérations de Drax, 25 septembre 2015].

Malgré le retrait de Drax, le projet White Rose continue d'être porté par les autres partenaires jusqu'à ce que le gouvernement britannique fasse complètement volte-face en novembre 2015. À ce moment, il annonce annuler l'investissement de 1 milliard de livres promis trois ans plus tôt dans le cadre du *CCS Commercialisation Program*. Justifiant cette décision par la volonté de réduire les factures pour les ménages actifs, le gouvernement porte un coup fatal au projet White Rose qui, faute de financement, sera suspendu *sine die* rapidement après. Cette résolution, arrivant juste quelques jours avant le début de la COP21 à Paris, surprend les promoteurs du projet, mais aussi tous les acteurs intéressés par la décarbonation. Sans prévenir ou consulter personne, les autorités ont gelé pour plusieurs années le développement du CCS au Royaume-Uni. Les acteurs du CCS, trahis par cette annulation, auront du mal à faire à nouveau confiance à ce partenaire nécessaire qu'est l'État comme le dit le chef de l'association industrielle promouvant le CCS.

This is devastating! Moving the goalposts just at the time when a four-year competition is about to conclude is an appalling way to do business. It is a real blow to confidence for companies investing in CCS. This technology is critical for the UK's economic, industrial and climate policies [Luke Warren, chief executive of the CCS Association, propos recueillis par Damian Carrington, 25 novembre 2015].

Même si le projet White Rose n'a pas abouti, il est la première tentative d'un déploiement du CCS sous sa forme actuelle, c'est-à-dire avec une infrastructure mutualisée entre industriels et des technologies innovantes largement soutenues par la puissance publique nationale et transnationale. Il illustre avec beaucoup de clarté plusieurs éléments de facteurs contextuels que nous retrouverons ensuite pour la conversion BECCS de Drax. Les sources de financements du projet sont, de ce point de vue, particulièrement éclairantes.

Les financements et particulièrement les conditions d'obtention de celles-ci sont des instruments d'action publique qui influent sur la trajectoire d'un projet et donnent une forme à celui-ci (Fournis, 2017). La compagnie Drax sachant la nécessité d'obtenir des subventions nationales et européennes pour s'assurer du succès de leur projet a immédiatement aligné ses caractéristiques sur les exigences des organismes financeurs. Par exemple, le développement en consortium n'était pas une nécessité

industrielle, mais bien une nécessité politique. Drax n'avait pas nécessairement besoin des savoir-faire de National Grid ou d'Alstom. Lors de la précédente vague des projets CCS dits de *capture ready*, la plupart des compagnies prévoyaient de développer de manière autonome leurs installations. En regroupant ces compagnies, dont le distributeur national d'électricité, Drax voulait témoigner de *l'utilité publique* de son projet, qui était une des conditions d'obtention du financement du NER300. La mutualisation de l'infrastructure qui restera un élément clé du développement du BECCS est donc à la base une contrainte politico-économique. Ce cas montre, d'une part, la manière dont sont internalisées des politiques transnationales dans des projets nationaux et d'autre part, que les instruments d'action publique sont autant de choix politiques cachés dans la technique (Lascoumes & Le Galès, 2005)

III.4. Un style politique caractérisé par l'instabilité des choix électoraux

Même si la conversion BECCS héritera de certaines caractéristiques du projet White Rose, il n'en reste pas moins qu'un tel retournement de situation ralentit durablement les projections de développement de l'industrie des émissions négatives. Alors que tous les voyants étaient verts, cette volte-face interroge. Est-ce que le style politique britannique est adapté au déploiement de ce type de technologie ? Qu'est-ce qui a poussé le gouvernement à revenir sur ses instruments de transition comme les subventions pour la biomasse ou le fonds du CCS ? Une réponse peut se trouver dans les élections parlementaires de 2015. Alors que depuis les élections de 2010, le parti Conservateur gouvernait en coalition avec le parti Libéral-Démocrates, tous deux ne disposant pas de suffisamment de sièges pour gouverner seul, le parti Conservateur crée la surprise en 2015 en devenant le parti majoritaire.

Les sondages la veille de l'élection ne donnaient la majorité à aucun parti et voyait encore un *hung parliament*, c'est-à-dire en politique française *une cohabitation*, siégeait à Westminster (Leruez, 2015). Rempportant 330 sièges, soit quatre de plus que la limite pour atteindre la majorité absolue, le parti conservateur mené par David Cameron écarte du pouvoir pour cinq ans les autres partis. C'est la coalition précédente qui à l'initiative des libéraux-démocrates avait mis en place des systèmes de financements favorables à la biomasse et au CCS.

Dans cette campagne de 2015, le coût de la vie a été la préoccupation principale des Britanniques à travers les problématiques de croissance économique, de difficultés d'accès aux soins et aux allocations sociales et bien sûr la fiscalité. La hausse de celui-ci, mesurée par la différence entre les croissances moyennes de l'inflation et des salaires est dans les trois années qui précédent l'élection se place au cœur des sujets de campagne.

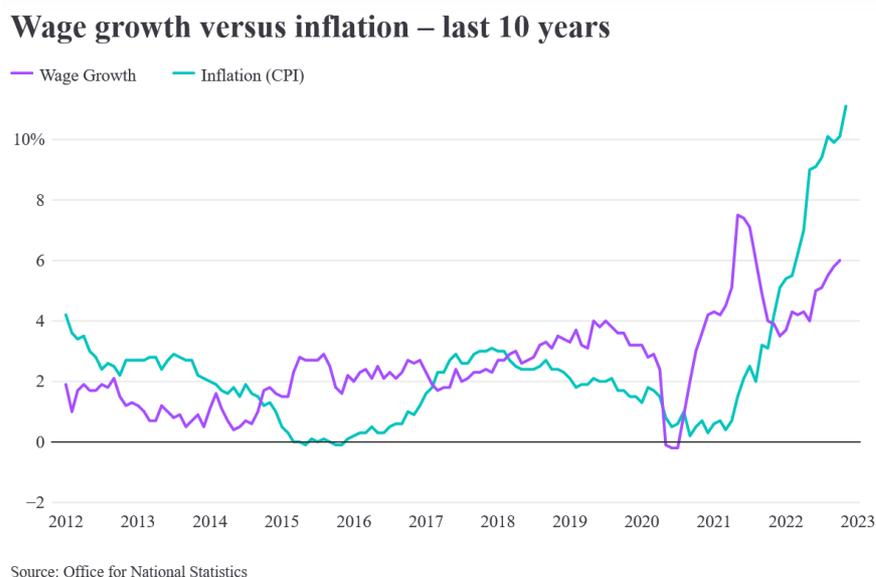


Figure 23 : Coûts de la vie au Royaume-Uni entre 2012 et 2023, Office des statistiques britanniques

Traditionnellement, l'écologie n'est pas un des thèmes principaux du Parti Conservateur. Pour cette élection, le parti a fait le choix de concentrer majoritairement sa campagne sur les conditions économiques. Il a alors focalisé l'attention de l'opinion vers les questions économiques plutôt qu'écologiques. De plus, sa rhétorique présente l'environnement et la transition énergétique comme un poids économique plutôt qu'un levier de croissance en insistant sur le coût important des subventions accordées aux énergies renouvelables pour l'économie nationale et donc pour les contribuables britanniques. De cette manière, le parti Conservateur disqualifiait leur plus sérieux adversaire, le parti Libéral-Démocrate qui avait placé, au contraire, l'écologie dans ces priorités de campagne. Les conservateurs accusent en plus les libéraux d'avoir soutenu les politiques d'austérité qui ont suivi la crise des subprimes. À l'inverse, le parti Conservateur orientait directement sa campagne sur une réduction du coût de la vie et notamment une baisse de la fiscalité par une annulation des dépenses jugées non-essentiels, comme les subventions pour le CCS ou la biomasse. Cette stratégie de campagne se révèle fructueuse puisqu'à la veille des élections, les sondages montrent que l'économie est le sujet le plus important pour les citoyens, devant largement l'écologie.

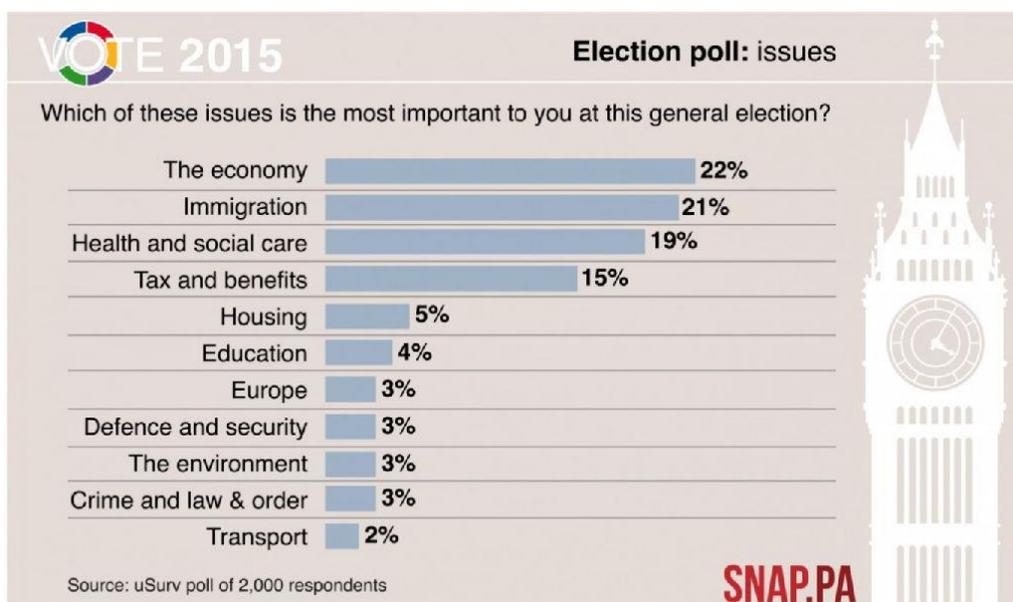


Figure 24 : Préoccupations des Britanniques pour l'élection parlementaire de 2015, Source uSurv 2015

Ce qui permet entre autres, au parti Conservateur de remporter largement la majorité tout en réduisant la place du parti Libéral-Démocrate, qui était membre de la coalition au pouvoir entre 2010 et 2015, à une position désormais très minoritaire. Une fois n'étant pas coutume, le parti nouvellement élu respecte ses promesses électorales et annule une partie des subventions pour la transition énergétique.

Cette volte-face électorale interrompt le développement du CCS au Royaume-Uni pour plusieurs années, mais révèle aussi l'extrême dépendance de cette technologie à un soutien financier public. Le soutien du gouvernement étant lui-même conditionné par les besoins et exigences des élections, celui-ci s'avère changeant et peu fiable. Or cette technologie nécessite d'être soutenue sur un temps long souvent incompatible avec les exigences de la vie politique du Royaume-Uni. Devant ce style politique très instable, le scepticisme gagne certains acteurs industriels sur la réussite de cette technologie malgré les annonces gouvernementales d'encouragement.

Toutefois, si les partis politiques sont porteurs d'une vision de la politique de l'énergie et d'un rapport de force des acteurs spécifiques, il apparaît alors évident que la variable politique est l'un des facteurs explicatifs du changement (ou de la résistance au changement) de la politique de l'énergie. (Tsuchiya, 2017)

Le cas des élections de 2015 illustre autant la fragilité de l'équilibre socio-politique pour le CCS que l'inadéquation du style politique britannique au développement de cette technologie. Le virage du gouvernement, d'abord sur l'annulation des subventions à la biomasse, avait déjà compromis le projet White Rose en obligeant Drax à se retirer pour conserver une certaine rentabilité. Puis l'annulation du fonds national de développement du CCS a enterré définitivement le projet.

De plus, le retrait de Drax témoigne d'une vulnérabilité ajoutée au déploiement du CCS par l'usage de la biomasse. La combustion de la biomasse, loin de solidifier la chaîne de valeur de cette technologie la rend encore plus fragile tant économiquement que politiquement. Ainsi la conversion à la biomasse débutée en 2012 dont nous allons parler dans la suite révèle plusieurs failles.

IV. 2012 - 2027 : La conversion à la biomasse, un financement très politique

IV.1. La biomasse, un mauvais remplaçant pour le charbon ?

Avant la confirmation par le gouvernement en 2015 de la fermeture des centrales à charbon, la direction de Drax déjà au fait de cette décision avait commencé à prendre sérieusement des mesures en 2012 pour changer de combustible. En réalité, des tests préliminaires ont été réalisés même avant 2012 pour s'assurer de la faisabilité d'une telle transformation. En 2004, par exemple des ingénieurs de Drax mélangèrent des échantillons de charbon avec des résidus de saule, sourcés dans les plantations autour de la centrale dans un seul des six fourneaux. Les quantités sont encore modestes avec 14 000 tonnes de bois pour remplacer 10 000 tonnes de charbon⁷⁵.

Le risque principal, qu'ils cherchent à évaluer est la différence de température de combustion entre la biomasse et le charbon. Celle-ci risque d'engendrer de graves dommages aux fourneaux qui peuvent aller jusqu'à les faire exploser. Mais après plusieurs années d'essais de mélange biomasse/charbon avec différents types de biomasse pour en connaître les densités et valeurs calorifiques, les résultats sont suffisamment concluants pour envisager dès la fin de l'année 2008 une montée en puissance de la combustion de biomasse. À ce moment, la direction se rend compte qu'une reconfiguration technologique va engager des sommes importantes. Par exemple, l'ajout de procédés d'injection et de broyeurs pour les résidus de bois d'un seul fourneau est alors évalué à £60 millions⁷⁶.

Néanmoins, les difficultés techniques d'injection de la biomasse associées aux contraintes économiques d'approvisionnement⁷⁷ surtout à cette époque où Drax était une des premières centrales à se convertir déterminent la direction à la prudence. En 2009, l'objectif pour la centrale principale reste modeste. La conversion à 100 % est loin d'être envisagée. Il s'agit de faire fonctionner les fourneaux avec seulement 12,5 % de biomasse. Il faudrait alors importer chaque année entre 1,5 à 2 millions de tonnes de biomasses en plus des 9 millions de tonnes de charbon. La

⁷⁵ Gow, David . "Drax goes green with willow", The Guardian, 19 mars 2004

⁷⁶ "Drax power station installs plant for biomass co-firing", Professional Engineering, 15 octobre 2008

⁷⁷ Sampson, Ben. "The big burn", Professional Engineering, p.36-37, 11 juin 2008

majeure partie de la biomasse sera apportée par voies maritimes, car les producteurs locaux restent réticents à mobiliser des terres spécialement pour « une expérimentation », surtout qu'une tentative précédente s'était déjà conclue par une faillite pour certains d'entre eux⁷⁸. Afin d'assurer cette quantité et de diversifier les sources, plusieurs types de produits sont envisagés comme les pellets de bois ou les cosse de tournesol, les coques d'arachides ou de colza. Cette transformation permettrait de diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 2,5 millions de tonnes par an, soit une réduction de 15 % faisant de la centrale de Drax une des moins polluantes d'Europe en rapport à la puissance produite.

Suivant une tendance mondiale à la suite des accords de Kyoto visant à réduire rapidement les émissions de gaz à effet de serre par la biomasse (Tillman, 2000) et riche de cette expérience réussie, Drax annonce en 2009, en parallèle de la conversion partielle des fourneaux existants, la construction de trois nouvelles centrales fonctionnant intégralement à la biomasse. Le projet estimé à £2 milliards est colossal⁷⁹. La puissance envisagée pour chacune de ces stations est de 300 MW électrique et leur appétit en biomasse sera d'environ 1,3 million de tonnes par an. Si le projet est mené à son terme, la compagnie Drax sera en mesure de fournir plus de 10 % de toute la consommation du Royaume-Uni.

Bien que l'usage de la biomasse soit préférable à la combustion du charbon dans la lutte contre le réchauffement climatique. Certaines associations environnementales comme Greenpeace émettent des réserves sur le manque de rendement de ces centrales et la consommation dispendieuse d'arbres qui résulterait des pertes en chaleur fatales.

Biomass plants can help us in the fight against climate change, but only if they make the most of the waste heat they produce and use fuel from carefully chosen sources. Otherwise they're cutting down trees, shipping them across the world and then throwing away the energy they get from them. [Propos du Dr. Doug Parr, directeur scientifique de Greenpeace, recueillis par Angela Jameson, The Sunday Times, 2008]

En 2011, le ministère de l'Énergie autorise la construction de deux de ces centrales, une sur le site de la centrale de Drax dans le Yorkshire et l'autre dans le North Lincolnshire à proximité du port d'Immingham par lequel transite déjà une part des approvisionnements en biomasse de Drax.

⁷⁸ Gow, David. "Drax goes green with willow", The Guardian, 19 mars 2004

⁷⁹ « Drax plans to build three biomass plants », Professional Engineering, p.11, 29 octobre 2008

Néanmoins, la construction reste en suspens, car les règles d'attribution des subventions ne rendent pas l'exploitation de ces centrales rentable⁸⁰.

IV.2. Alimenter les centrales en biomasse et surtout en subventions : l'instrument du ROC

Le mécanisme de subvention mis en place par le gouvernement britannique pour atteindre ses objectifs de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables sur son territoire s'appelle les Renewables Obligations Certificates (ROC). Remplaçant en 2002, les Non-Fossil Fuel Obligation (NFFO), le ROC se voulait plus compétitif, mais plus favorable aux nouveaux développements. Le gouvernement crée artificiellement un marché d'obligations « vertes » dans lequel les fournisseurs d'électricité sont à la recherche de certificats émis par des producteurs d'énergies renouvelables. Les producteurs qui ne fournissent pas leur part d'énergie renouvelable payent une pénalité de £30/MWh. Ces pénalités alimentent en pot commun qui récompense les producteurs d'énergies renouvelables en proportion de leur production. Les obligations peuvent être vendues séparément de l'énergie produite et doivent absolument être fournies au régulateur du réseau : l'OFGEM. Ce système connaît des limites dont la plus évidente est le fait que plus les producteurs se convertissent aux énergies renouvelables, moins il y a de fonds disponibles pour stimuler de nouveaux développements (Toke, 2003). Un seuil est donc rapidement atteint et la transformation complète du système de production énergétique est inenvisageable avec cet outil.

Voulant stimuler la compétitivité économique des énergies décarbonées, le ROC s'avère défavorable à la biomasse et très favorable aux éoliennes⁸¹. Pour chaque MWh vendu, une ferme éolienne offshore peut émettre deux fois plus de certificats qu'une centrale de biomasse. De plus, la co-combustion charbon/biomasse est encore moins bénéfique, car elle n'a la possibilité de vendre que la moitié d'un certificat par MWh produit. Dans ce régime de subvention, la direction de Drax a suspendu la décision de construire des nouvelles centrales et de convertir l'ensemble des fourneaux à la biomasse en attendant une réévaluation du niveau de support sous le régime des ROCs⁸².

En 2012, suite à une revue parlementaire et aux demandes de plusieurs promoteurs de bioénergie, le ministère de l'Énergie modifie les règles du ROC pour encourager la conversion des centrales existantes et décourager la construction de nouvelles. Drax abandonne alors son projet de nouvelles

⁸⁰ « Biomass approval for Drax », Professional Engineering, p.5, 1er septembre 2011

⁸¹ House of Commons Environmental Audit Committee, 2002. A sustainable energy strategy? Renewables and the PIU report. Fifth Report, July.

⁸² « Drax puts biomass scheme on hold », Professional Engineering, 24 février 2010

centrales à £2 milliards et se concentre sur la conversion complète des fourneaux existants pour £700 millions. La décision prise, les travaux commenceront en 2013 pour se terminer en 2017.

Before we moved down to any of the projects, it was complicated enough at the time we were the first, we were the biggest, we were the only real successful project that converted, there was a few in Europe, Heimer and a few others, that tried the same thing, but really Drax has been the most successful. We started trying to do enhance co-firing up to 50%. The government then [in 2012] changed the rules and said, we need a hundred percent or near enough, a hundred percent firing for the biomass fee to be accepted into the Renewable Obligation Scheme. So we changed our plans and did a hundred percent conversion of our units. [Propos recueillis auprès du directeur de l'innovation de Drax, Auclair 2022]

Ce changement de règle intervient après la revue des « bandes d'obligations » en décembre 2012, c'est-à-dire des quantités de certificats à émettre par MWh en fonction de la technologie de production. Faisant suite à une consultation avec 49 parties prenantes de la bioénergie au Royaume-Uni, le gouvernement a statué contre l'avis général un plafonnement de l'ensemble des nouvelles capacités de production de biomasse à 500 MW alors que Drax envisageait la construction de 3 centrales de 300 MW chacune. De plus, les droits d'émissions de certificats pour la co-combustion ont été abaissés à 0,3 ROC/MWh alors que la combustion intégrale de biomasse octroyait le droit à 1 ROC/MWh à partir de 2013 et garanti jusqu'en 2027⁸³.

Suivant la typologie de Lascoumes et LeGalés (2004), le ROC apparaît comme un instrument de type économique et fiscal. À travers celui-ci, l'État cherche à redistribuer les richesses entre les différents producteurs d'énergie pour développer les filières les moins rentables économiquement, mais les plus bénéfiques à la lutte contre le réchauffement climatique. Même si certaines décisions concernant cet outil semblent autoritaires, le gouvernement est à la recherche d'un compromis entre les producteurs comme lors des modifications des règles d'attribution en 2012. Ainsi la légitimité du ROC émane directement de cette recherche d'une utilité collective à la fois économique et environnementale.

La garantie des revenus complémentaires de la vente des certificats pendant quatorze ans et la baisse des revenus sur les nouvelles unités de biomasse ont focalisé la direction de Drax sur la conversion intégrale de la centrale déjà existante. En adoptant ce mécanisme de subvention, le gouvernement a

⁸³ « Renewables Obligation Banding Review for the Period 1 April 2013 to 31 March 2017 », s. d., 48.

pu donner vie aux promesses de Drax lors de son introduction en bourse en 2005. Sans le ROC, les centrales à biomasse sont déficitaires sur le marché de la production d'électricité. Avec le ROC, la biomasse peut proposer des coûts de l'électricité équivalents sinon meilleurs à ceux d'une centrale à charbon (McIlveen-Wright et al., 2013). Ainsi, le bilan économique de Drax restait inchangé et le choix de cette forme de soutien politique devenait la cause principale de la reconfiguration de la centrale vers la biomasse comme le dit la CEO de Drax à cette époque :

We have been given the opportunity to convert coal to biomass, which wasn't possible before. [Propos de Dorothy Thompson, CEO de Drax, recueillis par Karolin Schaps, Reuters, 25 juillet 2012]

Ce choix du ministère de l'Énergie est un équilibre entre d'une part, le potentiel de décarbonation des sources d'énergie et d'autre part, le coût de celles-ci. Le coût de nouvelles constructions dédiées à la biomasse était beaucoup plus élevé que par exemple la conversion ou l'éolien⁸⁴. De plus, des incertitudes persistantes sur la neutralité carbone de la biomasse ont aussi affaibli le potentiel de décarbonation de cette technologie (Johnson, 2009). Désireux d'investir l'argent public dans des solutions sûres tout en conservant un coût de l'électricité acceptable, les autorités britanniques ont accordé un soutien mitigé à la biomasse.

[The government went] where can we get the kind of most return on value for our investments in renewables and so we have to understand whether or not biomass is carbon neutral, and then we have to compare it to other sources of carbon neutral energy. We know that it's obviously far more expensive than large scale wind turbines but the big kind of question is, well, is it even carbon neutral? And that's what a lot of people are sceptical about, and that's what we're calling it sceptical about from the point of evidence. [Propos recueillis auprès d'un responsable de l'ONG Ember Climate, Auclair 2022]

Cette décision de soutien tendue entre deux pôles, l'un économique et l'autre environnemental, porte déjà en germe les motifs de la contestation sur Drax pour les années suivantes. Les associations qui se mobiliseront contre Drax réclameront pour le pôle économique, la fin des subventions avant leur terme en justifiant une mauvaise distribution de l'argent public et pour le pôle écologique, la menace que représente l'approvisionnement massif en biomasse de Drax pour le réchauffement climatique. Cette démonstration vient renforcer le fait que l'acceptabilité sociale se joue sur plusieurs niveaux

⁸⁴ Macalister, Terry, "New biomass plants shelved as Drax and Centrica blame lack of support", The Guardian, 25 octobre 2012

et non pas seulement sur le niveau micro-local d'un projet (Fournis et Fortin, 2015). Des controverses locales sont nourries par des incertitudes au niveau des arrangements institutionnels. Une autre reconfiguration de la centrale de Drax pourra également être sujette à controverse selon le contenu des décisions méso-politiques qui la soutiendront.

IV.3. Les craintes sur l'approvisionnement en biomasse transformant l'organisation de la centrale

Alors que la conversion à la biomasse de Drax était en bonne voie depuis 2012 grâce à des ROCs avantageux, l'élection de 2015 et les changements de règles sur l'octroi des subventions viennent marquer un coup d'arrêt au milieu de cette conversion. Mais le bilan en 2015 est déjà riche avec trois des six fourneaux adaptés pour brûler 100 % de biomasse. Les besoins en biomasse croissant au fur et à mesure de la conversion, la direction de la centrale a dû à nouveau transformer la configuration d'acteurs en intégrant l'amont de la chaîne de valeur à sa production de bioénergie.

Convertir une centrale de la taille de Drax à la biomasse n'avait jusqu'à présent jamais été réalisé. Toutes les opérations étaient par conséquent des innovations depuis le transport de la biomasse jusqu'à sa combustion. Les pellets de bois, à l'inverse du charbon, ne pouvaient pas être entreposés de manière sécurisée à l'air libre dans de grands tas à côté de la centrale. Étant une matière organique, le bois stocké dehors en grande quantité risque de devenir trop humide pour les fourneaux ou bien il peut se composte, voire brûler progressivement. La bonne gestion de la chaîne logistique devient dès lors un élément clé de cette conversion, c'est pourquoi l'acheminement des pellets sur le site est traité avec le plus grand soin comme s'il s'agissait d'un hydrocarbure extrêmement inflammable. L'entreposage se fait désormais dans quatre dômes clos capables de stocker 112 000 m³ chacun. Le délai d'entreposage est réduit de 70 à 14 jours afin d'éviter la décomposition du bois avant sa combustion. L'approvisionnement par voie ferrée se réalise à flux tendu avec le déchargement d'une douzaine de trains par jour⁸⁵.

Un amont de toute cette logistique, la question de la sécurité de l'approvisionnement est au cœur des enjeux de la conversion de Drax. Si tous les fourneaux venaient à brûler 100 % de biomasse alors les besoins de combustible se chiffraient à plusieurs millions de tonnes par an. Afin de s'assurer de toujours alimenter la centrale avec une telle quantité qui puisse surtout être à la qualité requise, la direction de Drax décide de développer en interne une filière de récolte et de traitement de la biomasse dès 2012.

⁸⁵ Blake. Tanya, « Miracle Workers » February 2016 in Professional Engineering

In 2012, when we started considering a 100% conversion we realised that we were going to be a significant portion of the world's biomass, pellet consumption. At that time the biomass supply in the world was about 8 million tons and we could see an appetite for up to 7 million tons. We were going to be the vast majority of the consumption of the global demand. Therefore, from a security supply point of view, we wanted to get into the supply chain. [Directeur de l'innovation à Drax, propos recueillis par F.Auclair, 2022]

La compagnie commence alors par acquérir de petites usines de production de pellets en Grande-Bretagne⁸⁶ pour se familiariser avec cette branche de l'industrie forestière, intégrant ainsi de nouveaux acteurs. Mais rapidement les besoins appellent à un changement d'échelle. Les surfaces forestières autour de Drax ne suffiront pas, la direction de Drax cherche alors d'autres régions du monde avec de larges ressources en biomasse et une foresterie déjà bien développée. La côte orientale de l'Amérique du Nord, aux États-Unis et au Canada, se révèle être une solution profitable. Au-delà des avantages matériels de cette région, la stabilité politique de ces pays a aussi rassuré les dirigeants de Drax qui envisageaient d'y réaliser de gros investissements.

When you're going to make a considerable investment, we're talking hundreds of millions of pounds, you need a political landscape you can be confident in. One that's not going to change overnight. You also need a sustainable supply of biomass and an industry that is built around timber and the USA has got a huge timber industry. [Directeur de l'innovation à Drax, propos recueillis par F.Auclair, 2022]

Drax acquiert alors la société Pinnacle aux États-Unis et Rentech au Canada, et fait aménager le port de Bâton Rouge en Louisiane pour y accueillir ses navires de transport de pellets⁸⁷. Avec cette stratégie d'acquisition, Drax assure son approvisionnement en même temps qu'elle diversifie ses activités sur un marché en plein essor. En effet, sous le double effet d'une comptabilité du carbone considérant la combustion de biomasse climatiquement neutre (EU ETS section 4.2.2.1.6 Emission factors, 2004) et d'un coût du bois avantageux au regard d'autres sources d'énergie, le marché du pellet de bois croît depuis 2004 en moyenne de 2,5 millions de tonnes par an tous usages confondus (domestiques, commerciaux et industriels)⁸⁸. Drax qui est le principal sinon l'unique consommateur britannique représente environ la moitié de la consommation mondiale de pellets à usage industriel

⁸⁶ Consulté sur le site du journal The Guardian en 2022 :

<https://www.theguardian.com/uk/2012/oct/25/biomass-plants-shelved-drax-coalition>

⁸⁷ Archives de Drax sur le sourcing de la biomasse en 2013 : <https://www.drax.com/wp-content/uploads/2016/09/2013-Capital-Markets-Day-2-Biomass-Sourcing-2013.pdf>

⁸⁸ Statistiques sur l'exportation de pellets dans le monde en 2021 :

<https://www.canadianbiomassmagazine.ca/2021-global-wood-pellet-markets-outlook/>

depuis le début de sa conversion. La centrale pèse fortement dans la croissance mondiale de ce marché.

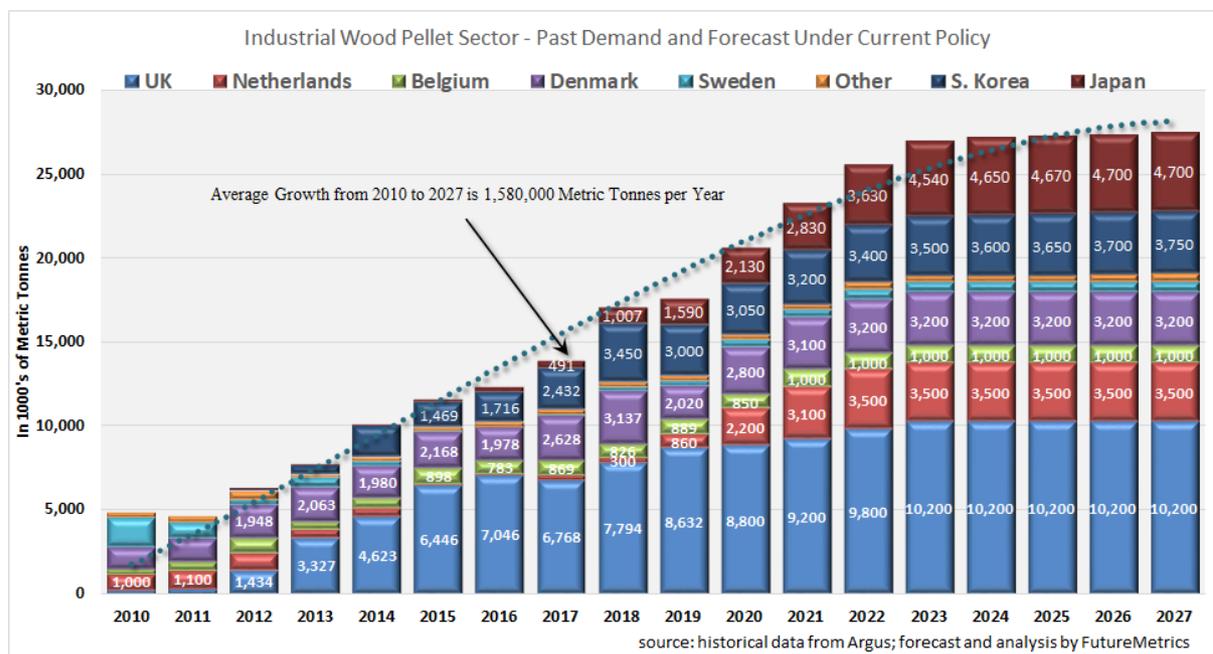


Figure 25 : Évolution de la demande mondiale de pellet pour un usage industriel depuis 2012, (Drax en bleu clair), source : Biomass Canada

L'approvisionnement assuré, la conversion des fourneaux est réalisée avec l'aide des subventions du gouvernement britannique qui sont validées par la Commission européenne. Du fait de son appartenance à l'Union jusqu'en 2020, l'Angleterre doit se conformer aux règles du marché commun avec sa subvention de £650 millions pour la conversion des trois fourneaux⁸⁹.

Alors que cet accord européen annonçait la possibilité de continuer les aménagements de Drax, les élections de 2015 rebattent les cartes au niveau national. Les décisions du gouvernement sur les règles de subventions mettent en pause la poursuite de la conversion des trois unités restantes⁹⁰ et impactent très négativement la confiance des investisseurs dans l'avenir de la centrale, et ce même si le contrat des ROCs est actif jusqu'en 2027. Ainsi les élections de 2015 et leurs conséquences ne portent pas seulement un coup d'arrêt aux travaux de conversion, mais fragilisent durablement la cotation boursière de la compagnie.

La stratégie commerciale de Drax est pourtant raisonnable. En convertissant les fourneaux à la biomasse, elle évite les pénalités d'émissions de carbone et se garantit des revenus supplémentaires. En adoptant la position d'une société verticalement intégrée par le développement d'une filière de

⁸⁹Consulté sur le site de Biomass magazine en 2023 : <https://biomassmagazine.com/articles/14030/ec-approves-state-aid-for-third-drax-unit-conversion>

⁹⁰Blake. Tanya, « Miracle Workers » February 2016 in Professional Engineering

foresterie, elle solidifie son business-model et sécurise son approvisionnement. Malgré cela, l'activité de la centrale demeure significativement dépendante des mesures politiques nationales.

Pendant toute la période de conversion de 2012 à 2015, le montant des actions de Drax est en hausse quasi constante. À partir de 2015, les actions enregistrent une baisse durable et stable d'environ 40 % en moyenne jusqu'en 2021. La conversion du quatrième fourneau en 2018 et la croissance des prix et des parts sur le marché du pellet pendant toute cette période n'y changera rien. Même avec sa diversification vers le marché des combustibles de biomasse, Drax demeure ancrée dans le secteur de la production électricité renouvelable qui est radicalement dépendant des politiques publiques nationales.



Figure 26 : Cotation à la bourse de Londres de Drax entre 2006 et 2022, Financial Times 2022

Comme nous le constatons, le business-model de Drax est étroitement sensible à son environnement politique aux niveaux national et européen pour l'investissement initial, mais aussi pour la continuité des opérations. Le marché dans lequel évolue Drax est plus politique qu'économique.

Conclusion : Beaucoup de transformations pour une seule centrale

Au cours des soixante années qui sépare la conception de la centrale jusqu'à aujourd'hui, nous avons constaté quatre grandes phases marquées par les changements de certains facteurs contextuels et la constance d'autres. Nous retenons dans ce dernier paragraphe les transformations les plus saillantes entre chaque période. Les premiers changements notables, qui font passer la centrale de la première phase de construction à la deuxième phase de banalisation financière, sont l'introduction de nouveaux acteurs financiers dans des configurations jusqu'à présent dominées par des experts de l'énergie et l'évolution des représentations collectives vers une vision financièrement banalisée de l'électricité. Entre la deuxième et la troisième phase, la configuration d'acteurs change encore avec l'État qui s'investit plus directement dans la décarbonation du mix énergétique en poussant le déploiement du CCS. Notons aussi l'arrivée d'autres acteurs industriels partageant ce même objectif. Les formes de soutien politique généreuses ont pour effet collatéral d'accroître la dépendance de Drax à un style politique marqué par l'instabilité. Enfin, la dernière phase annonce la conversion complète de la centrale à la biomasse et l'intégration verticale des nouveaux acteurs forestiers pour sécuriser l'approvisionnement en biomasse.

Facteurs Période	Matérialité	Style politique	Configuration d'acteurs	Représent. collectives	Internalis. des facteurs exogènes	Forme de soutien politique
1964 – 1990 Construction et filtres à soufre	La centrale est construite à proximité de nouvelles mines de charbon	Le gouvernement décide et le CEEGB exécute. Peu d'action des pouvoirs locaux	Le gouvernement, le CEEGB et les mineurs sont les principaux acteurs de la construction	Le charbon est un vecteur de croissance économique et de souveraineté	Réticences à appliquer les traités internationaux sur la pollution de l'air	Intervention directe et exclusive de l'Etat (financement et pilotage)
1990 – 2005 Banalisation et valse des propriétaires	Sensibilité économique sous-estimée à cause du facteur de charge élevé des 6 fourneaux	Le gouvernement contrôle la privatisation mais laisse l'initiative aux acteurs privés	Des investisseurs étrangers pas spécialistes possèdent la centrale	L'énergie devient une commodité comme une autre et Drax un actif banal	La décarbonation forcée par les investisseurs et les contraintes réglementaires européennes	Evaluation et approbation des opérations de changement de propriétaire
2005 – 2015 Captage et stockage de carbone	Tentative de construction d'une petite centrale-pilote à côté de Drax	Le gouvernement propose et soutient mais les industriels doivent mettre en œuvre	L'Etat indirectement et Drax, Alstom et National Grid directement	Le charbon reste nécessaire et « bon » mais sa pollution est problématique	La compétitivité économique mondiale et la création du CCS soutenue par le G8	Promulgation du statut « <i>capture ready</i> » et soutien financier pour la création du CCS
2012 – 2027 Conversion à la biomasse et intégration	Transformation des zones logistique et de 4 des 6 fourneaux pour brûler de la biomasse	Le gouvernement soutient selon ses priorités mais les industriels doivent mettre en œuvre	L'Etat par ses subventions et Drax qui intègre verticalement ses fournisseurs	La biomasse peut remplacer le charbon mais ce n'est ni bon marché, ni sécurisé	Le postulat de la neutralité du carbone est assuré par la comptabilité du carbone de l'UE	Les ROCs sont l'instrument nécessaire pour assurer cette conversion

Figure 27: Évolutions des facteurs contextuels sur les 4 périodes de la vie de la centrale, Auclair 2023

Partie II

Les controverses sur l'arrivée du BECCS à Drax

La première partie de notre démonstration a exposé quatre grandes périodes structurant la vie de la centrale depuis sa construction jusqu'à la nécessité de sa transformation au BECCS pour continuer à survivre. Sans encore considérer pleinement l'acceptabilité du BECCS, l'histoire de la centrale témoigne de l'influence des décisions politiques nationales dans son évolution technologique ainsi que de la constance de ses besoins économiques et matériels pour simplement être active. En révélant des problématiques structurelles, la partie précédente a montré que les aléas de la vie politique britannique n'instituaient pas vraiment un terrain favorable à l'émergence du BECCS. Nous verrons dans cette deuxième partie les problématiques d'acceptabilité actuelles qui concernent directement la centrale et qui pourraient être des obstacles à sa transformation vers le BECCS.

Cette partie plus courte que la précédente ne sera pas découpée chronologiquement, car les événements que nous relatons se déroulent tous dans la dernière période de la vie de la centrale. Il n'y a donc pas de raison de la présenter sous la même forme que la première partie. Suivant les balises du chapitre premier sur l'état de l'art, nous partirons des controverses les plus élevées, celles qui concernent principalement la filière ou les principes de la technologie pour aboutir à celles qui sont les plus proches du terrain et des projets.

I. Une légitimité questionnée par le carbone et la biodiversité

En plus des difficultés économiques causées par l'instabilité des décisions gouvernementales, Drax fait face à de sérieux mouvements d'opposition sociaux de défense de l'environnement. Dès le début du chantier de conversion en 2012, l'association environnementale américaine DogWood Alliance publie un manifeste pour discréditer l'affirmation selon laquelle les pellets de bois sont meilleurs pour l'environnement que le charbon. S'appuyant sur des publications académiques, ils exposent le bilan carbone plus désavantageux du bois et surtout les risques de déforestation associés dans les forêts américaines⁹¹.

⁹¹Publication de l'ONG DogWood Alliance sur l'utilisation des forêts par Drax : <https://dogwoodalliance.org/2012/11/new-report-discredits-uk-energy-company-claims-that-pellets-come-from-wood-waste/>

Energy companies in the UK, including Drax, RWE and E.On are converting large, old, dirty and inefficient coal power stations to biomass all in the name of reducing carbon emissions, but the reality is that this shift will accelerate climate change while also driving destructive industrial logging in the world's most biologically diverse temperate forests. [Extrait du manifeste de DogWood Alliance, 14 novembre 2012]

L'année suivante, l'association britannique Biofuel Watch réunit une cinquantaine de militants pour bloquer l'assemblée générale de Drax, le 24 avril 2013 et dénoncer cette conversion. Reprenant les arguments de Dogwood Alliance, les manifestants proclament l'effet désastreux du projet sur le climat, qui sera même pire que la poursuite de la combustion du charbon. Une élue du parti écologiste anglais s'est jointe à cette manifestation assure que les seules solutions de décarbonation pour l'Angleterre se trouvent dans le solaire, l'éolien et la sobriété⁹².

Le même jour, 48 organisations non gouvernementales co-signent une lettre ouverte pour dénoncer les nombreux dangers de l'usage de la biomasse pour produire de l'électricité à grande échelle avec notamment des risques sur la pollution atmosphérique, une accélération du réchauffement climatique, le non-respect des droits des communautés autour des zones d'exploitation de la biomasse et la perte de biodiversité, des dégradations des sols et des conflits d'usage sur les ressources hydriques⁹³. Les auteurs critiquent les subventions octroyées dans le cadre d'une comptabilité du carbone qu'ils jugent contraire aux découvertes scientifiques sur les émissions de carbone de la biomasse. Pour éviter d'ajouter des dommages environnementaux, les signataires proposent simplement de fermer les centrales et de se concentrer sur des sources d'énergies vraiment renouvelables.

Not only do [Drax and other coal power stations] get a 'new lease on life', but they also receive subsidies for this ploy since biomass burning is classified and supported lavishly as 'renewable energy'. [...] We oppose commercial and industrial scale bioenergy, and demand that the UK halt coal conversion plans and force these coal plants to shut down. [Extrait de la lettre ouverte internationale : oppose Drax coal to biomass conversion plans, 14 avril 2013]

⁹² Consulté sur le site de l'ONG BiofuelWatch en 2022 : <https://www.biofuelwatch.org.uk/2013/drax-agm-targeted-over-biomass-conversion-plans/>

⁹³ Consulté sur le site de l'ONG BiofuelWatch en 2022 : <https://www.biofuelwatch.org.uk/wp-content/uploads/DRAX-AGM-signon.pdf>

En 2014, l'ONG Les Amis de la Terre porte plainte contre Drax auprès de la Commission européenne pour dénoncer les subventions accordées par le gouvernement britannique pour cette conversion qui n'est pas climatiquement bénéfique⁹⁴. Toutefois, comme nous l'avons vu, précédemment, cette plainte ne donnera suite à aucune sanction, car la Commission jugera qu'il n'y a pas de distorsion du marché commun avec l'attribution de ces subventions. Il n'en reste pas moins que depuis le début de la conversion de Drax, les oppositions se cristallisent sur le principe de la neutralité carbone de la bioénergie. L'affirmation devenue légale que la combustion de biomasse serait neutre en carbone est remise en question par de nombreuses études scientifiques (Ahamer, 2022 ; Johnson, 2009 ; Booth, 2018) et sert de point d'appui aux mobilisations environnementales qui s'étendent progressivement à la société civile.

La BBC réalise en juillet 2014 un reportage à destination du grand public sur les polémiques au sujet de la neutralité du carbone dans la combustion de biomasse. Relayant les conclusions d'un rapport ministériel du Department of Energy and Climate Change (DECC), il explique que dans la majorité des types d'exploitation forestière, le dégagement de CO₂ de l'intégralité des opérations de récolte, de préparation et de combustion dépasse celui généré par l'exploitation et la combustion du charbon⁹⁵. Ce rapport laisse tout de même un espace de légitimité dans la lutte contre le réchauffement climatique à la production de bioénergie. En effet, la récupération des déchets de bois de l'exploitation existante des forêts pour la production de bois d'œuvre (meubles, planches, poutres,...) et de papier serait la seule garantie d'un impact climatiquement bénéfique. Sur cette possibilité rebondit la directrice de Drax en assurant que sa société s'astreint déjà au respect de cette condition. En affirmant être bien consciente de ces enjeux, l'entreprise cherche à prouver sa légitimité dans la lutte contre le réchauffement climatique et à apaiser les oppositions sur leur crainte principale.

The academic study by DECC confirms what Drax has always argued – that there is a right way to source biomass and a wrong way. We welcome that it confirms the fact that where biomass is sourced sustainably major carbon savings can be delivered. Sustainability has always been absolutely central to our biomass strategy. [Dorothy Thompson, Directrice de Drax, propos recueillis par R. Harrabin pour la BBC, 24 juillet 2014]

⁹⁴Consulté sur le site de Reuters en 2023 : <https://www.reuters.com/article/eu-energy-drax/eu-investigating-british-governments-help-on-drax-biomass-loan-idUKL6N0LU28920140225/>

⁹⁵ Consulté sur le site de la BBC en 2023 : <https://www.bbc.com/news/uk-28457104>

Malgré les propos rassurants de la directrice, la confiance n'est pas rétablie entre Drax et ses opposants. Tout d'abord, parce que de nombreuses organisations environnementales pensent que même si l'entreprise respecte rigoureusement les règles de comptabilité du carbone, celles-ci ne garantissent pas l'établissement de pratiques véritablement neutres en carbone. En effet, certaines méthodologies de calcul sont connues pour abriter des erreurs critiques au regard de l'évaluation de l'utilisation de la biomasse forestière pour la bioénergie sur les émissions de gaz à effet de serre. L'erreur la plus courante est de ne pas prendre en compte le sort des stocks de carbone forestier en l'absence de demande de bioénergie. Sans cette demande, les forêts continueront de croître ou d'être exploitées pour d'autres produits ligneux. Ainsi une comptabilité appropriée nécessite que la différence de carbone forestier stocké entre les scénarios de récolte et de non-récolte soit prise en compte lorsque la biomasse forestière est utilisée pour la bioénergie. Or ce n'est pas le cas pour de nombreuses comptabilités officielles (Ter-Mikaelian et al, 2015).

It is the opinion of a lot of organisations and NGOs working on biomass that the rules of carbon accounting when it comes to biomass are inadequate. So yes, [Drax] is following these rules and I'm sure [It is] following them absolutely to the letter, but the rules are not good enough to ensure that their practises are actually carbon neutral. Drax bears the brunt of criticism but there's also plenty of criticism for regulators and governments who aren't actually doing enough to make sure that there's a good verification system in place. [Analyse de Ember, un think tank britannique sur l'énergie, propos recueillis par F. Auclair, 2022]

Malgré le respect d'une certaine comptabilité carbone, le doute demeure sur l'efficacité réelle des pratiques de Drax qui, pour la plupart des opposants, ne peuvent objectivement pas être neutre en carbone au regard des quantités requises pour le fonctionnement de la centrale. Pour trancher cette question, David Rose, un reporter du *The Mail on Sunday*, un journal hebdomadaire parmi les plus vendus du Royaume-Uni, s'est rendu en Caroline du Nord, États-Unis. C'est dans cet état et plus particulièrement dans la région d'Ahoskie que la société forestière Enviva produit les pellets de Drax. Son compte-rendu de visite laisse peu de place aux doutes : des arbres complets sont coupés pour être entièrement transformés en pellets⁹⁶. Interrogée par le journaliste, la compagnie Enviva a même confirmé le traitement d'arbres entiers et pas seulement des branches ou frondaisons pour la

⁹⁶Consulté sur le site du journal DailyMail en 2023 : <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2581887/The-bonfire-insanity-Woodland-shipped-3-800-miles-burned-Drax-power-station-It-belches-CO2-coal-huge-cost-YOU-pay-cleaner-greener-Britain.html#ixzz2w78q4DaQ>

confection des pellets. Elle explique cette pratique en précisant qu'il s'agit d'arbre inadapté pour du bois d'œuvre, car trop petit, malade ou tordu.

*Later, we inspected the plant on the ground. It's clear that many of the logs are not branches, but trunks. [But] at Drax, Burdett [Directeur HSE de Drax] said that in making pellets, Enviva used only 'thinings, branches, bentwood ... we are left with the rubbish, the residue from existing forestry operations. It's a waste or by-products industry'. He insisted: 'We don't actually chop whole trees down'. But looking at the plant at Ahoskie, [We] just don't get this claim that Drax doesn't use whole trees. Most of what we're seeing here is whole trees. **Pressed by The Mail on Sunday, Enviva yesterday admitted it does use whole trees in its pellet process.** But according to spokeswoman Elizabeth Woodworth, it only pulps those deemed 'unsuitable for sawmilling because of small size, disease or other defects. [David Rose, The Daily Mail on Sunday, 16 mars 2014]*

Cette enquête loin de dénouer la controverse l'alimente. Ses conclusions ont été largement relayées dans les associations déjà mobilisées contre le projet de Drax. L'efficacité et la légitimité de la conversion en tant que solution à la fois dans la lutte contre le réchauffement climatique et dans la crise écologique sont négativement impactées par la publication de ce reportage. À tel point qu'un réseau d'acteurs s'organise spécifiquement pour militer contre la conversion de Drax. Sous le nom d'**Axe Drax**, qui se traduit par « Tranchons Drax », ce mouvement commémore en 2016, les dix ans du Climate Camp devant la centrale dont nous avons parlé au début de ce chapitre⁹⁷.

Ce mouvement, principalement mené par l'association Biofuel Watch au Royaume-Uni, nous a confirmé que la bioénergie n'était pas une solution viable à leurs yeux pour l'avenir énergétique du monde. Bien qu'il conteste la bioénergie dans son ensemble, leurs actions se focalisent sur la centrale de Drax, car celle-ci déploie la bioénergie à une échelle si vaste qu'elle est à la fois le porte-drapeau et l'illustration flagrante des dangers de ce type de production électrique. L'incertitude sur l'impact climato-bénéfique du BECCS est un des motifs de contestation, mais ce n'est pas le principal. Les activistes que nous avons interrogés placent au centre de leur revendication le risque sur la biodiversité et le danger de sa perte pour la survie de l'humanité. En effet, l'exploitation d'une forêt déjà établie va inmanquablement faire disparaître pendant la durée de croissance d'une nouvelle forêt un écosystème riche de plusieurs centaines voire milliers d'espèces animales ou

⁹⁷ Publication de l'ONG Corporate Watch sur l'anniversaire du Climate Camp de Drax

<https://corporatewatch.org/ten-years-since-climate-camp-return-to-drax-2/>

végétales. Or la disparition de leur habitat pendant plusieurs décennies va directement menacer leur survie et les répercussions pourraient avoir un impact sur des activités humaines.

When you're burning that much wood, it cannot just come from saw dust and a few tweaks or whatever, and that has necessitated aggressive logging practices in countries where that is permitted. [...] Even if you try to regrow some trees to replace the ones that you cut down, you can't replant a forest which could have stood for hundreds of years and supports thousands of different animal and plant species. The biodiversity cannot be recovered in a timely enough fashion and our biodiversity crisis is as serious as threat to humanity survival as the climate crisis. The first big problem with bioenergy is the destruction it perpetuates on forests and global biodiversity. [Responsable campagne AxeDrax à BiofuelWatch, propos recueillis par F.Auclair, 2022]

Le respect des conditions strictes d'exploitation de la biomasse pour produire de véritables émissions négatives est un sujet débattu entre les promoteurs et les opposants sur lequel il est difficile de fixer une opinion. Les premiers assurant qu'ils respectent les conditions alors que les seconds affirment que ce n'est pas possible. Se déplaçant sur un sujet qui n'est pas pris en compte par les promoteurs, celui de la préservation de la biodiversité, les activistes ouvrent une nouvelle brèche dans la légitimité environnementale des filières de bioénergie. Cette problématique d'acceptabilité de principe témoigne encore de différences de vision non seulement sur un même sujet : l'urgence climatique, mais aussi sur des sujets parallèles comme la sauvegarde de la biodiversité.

Par conséquent, la centrale qui devait être un outil de lutte contre le réchauffement climatique pour les promoteurs se trouve être pour les activistes climatiques, la continuité directe d'une activité néfaste à l'environnement. Que ce soit en exploitant du charbon ou de la biomasse, ce type de centrale prolonge une vision de la production énergétique et plus largement de l'économie rejetée par une partie de la population. En 2015, la Coalition Mondiale des Forêts présente une étude des coûts, impacts et quantités de l'exploitation de la biomasse pour Drax et démontre que malgré le changement de combustible, ce cas est emblématique d'une volonté politique de donner « un avenir » à l'industrie du charbon⁹⁸. Pour l'ONG, cette conversion n'est donc pas motivée seulement par la volonté de décarboner l'économie, mais aussi de maintenir en vie une industrie dont la légitimité dans une transition écologique fait de plus en plus débat.

⁹⁸ Publication de l'ONG Global Forest Coalition sur le bilan carbone des opérations à Drax en 2015 : https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2015/01/case-study-7_almuth_UK.pdf

What the experience with Drax illustrates well is the symbiotic relationship between coal and big biomass: the world's biggest biomass scheme exists partly to secure a 'future' for coal too. [Conclusion de l'étude de la coalition Mondiale des forêts, 2015]

Au-delà de la polémique sur le type de biomasse utilisé par Drax, une dispute au niveau de l'acceptabilité de principes pour lesquels est développé le BECCS apparaît de plus en plus nettement. Le principe, mis en avant par les promoteurs, est celui de la lutte contre le réchauffement climatique. Les opposants voient quant à eux une autre raison : maintenir l'exploitation des ressources fossiles et les activités industrielles et les modes de production qui se sont développés grâce à celle-ci, même si elles se convertissent à la biomasse.

Suivant la pensée de Boltanski et Thévenot (2008), deux visions (*cités*) de la transition diamétralement opposées entrent en collision dans ce déploiement technologique. La première promeut une solution non disruptive contre le réchauffement climatique dans la continuité d'un système sociotechnique existant de production d'énergie. La seconde envisage une rupture complète avec ce système qui de par sa responsabilité dans la crise climatique ne peut pas faire partie de la solution.

II. *D'un pôle à l'autre, une légitimité sociale en écho à une légitimité environnementale*

Ces oppositions de principe sont le moteur principal des actions locales qui ciblent Drax, mais des enjeux d'acceptabilité locale viennent également résonner dans les arguments de ces associations environnementales. Comme nous l'avons vu dans l'état de l'art, les considérations de justice distributive et environnementale sont souvent les principales pierres d'achoppement de l'acceptabilité locale. Si la centrale de Drax proprement dite ne génère pas de nuisances ou de dangers pour les riverains, ce n'est pas le cas des usines de production de pellets acquises par la compagnie aux États-Unis.

En février 2021, l'usine de fabrication de pellets de Gloster, Mississippi détenue par Drax se voit dans l'obligation de payer une amende de \$2,5 millions pour avoir dépassé les seuils légaux d'émissions aériennes de composés volatiles. En plus de régler cette amende, la compagnie a immédiatement engagé des travaux pour ajouter des filtrations et éviter ces émissions indésirables⁹⁹. Ces travaux n'auront visiblement pas suffi puisqu'en 2023, la même usine se voit à nouveau notifier

⁹⁹ Consulté sur le site de la BBC en 2023 : <https://www.bbc.com/news/uk-england-york-north-yorkshire-56130166>

d'une violation des seuils d'émission des polluants atmosphériques dangereux. Alors que la société était autorisée à émettre 24 tonnes annuellement, les relevés ont montré qu'elle avait dépassé ce seuil de plus de 50 % pour arriver à 37 tonnes. Pour les mêmes raisons, une autre usine de pellets du groupe Drax située en Louisiane a aussi été obligée de verser \$3,2 millions de pénalités en 2022, un montant record pour ce type d'amende dans l'État de Louisiane¹⁰⁰. Pour sa défense, Drax a évoqué des estimations initiales bien inférieures à la réalité à cause d'un manque d'expérience sur cette industrie relativement nouvelle¹⁰¹. Cette ligne de défense non seulement ravive les critiques sur le manque de maturité technologique de ce type de bioénergie, mais suscite aussi de nouvelles craintes pour la santé des riverains.

La pollution atmosphérique générée par la production des pellets n'est pas limitée aux usines détenues par Drax. De manière générale, c'est toute la filière de bioénergie qui est concernée, depuis la production de pellets jusqu'à la combustion. À tel point que la très sérieuse American Lung Association, une association médicale nationale promouvant une meilleure santé pulmonaire, s'est déclarée publiquement très défavorable à la filière de bioénergie à cause du risque accru de maladies respiratoires que ses émissions aériennes génèrent¹⁰².

The American Lung Association does not support biomass combustion for electricity production [...] Burning biomass can emit recognized air pollutants, including particulate matter and other carcinogens, which cause premature death and endanger respiratory health. [American Lung Association, Public policy position on Energy and Transportation, 25 juin 2021]

Cette déclaration n'est pas passée inaperçue pour les opposants d'Axe Drax qui voit dans cette pollution aérienne la continuité d'un danger que faisait déjà peser sur les riverains la combustion du charbon. La bioénergie rejoignait sur les enjeux d'acceptabilité de principe la production d'énergie à partir du charbon en faisant survivre des modes de production et d'exploitation similaires. En produisant autant de dangers pour la santé que l'industrie du charbon, la bioénergie se rapproche encore plus d'un héritage très impopulaire sur des problématiques d'acceptabilité locale.

À ces enjeux de santé publique viennent s'en ajouter d'autres de justice sociale. Les usines de pellets sont implantées dans des zones rurales à proximité des grandes forêts, d'où sont extraites leurs matières premières. Dans ces zones vivent des communautés pauvres et souvent peuplées par des

¹⁰⁰ Consulté sur le site d'Industry Report en 2023 : <https://www.1012industryreport.com/energy/renewable-energy/deq-fines-drax-record-3-2-million-for-air-pollution-at-wood-pellet-mills/>

¹⁰¹ Consulté sur le site TheGuardian en 2023 : <https://www.theguardian.com/business/2023/may/29/drax-owned-wood-pellet-plant-in-us-broke-air-pollution-rules-amite-bioenergy-mississippi-emissions-limits>

¹⁰² Publication de l'association américaine des pneumologues sur la combustion de la biomasse : <https://www.lung.org/policy-advocacy/public-policy-positions/public-policy-position-energy>

personnes de couleurs qui en plus d'être économiquement défavorisées doivent encore porter le fardeau de la pollution générée par ces centrales. Ces communautés subissent les externalités négatives de la bioénergie, mais ne bénéficient pas de ses avantages. C'est encore plus vrai pour la centrale de Drax puisque la majeure partie des externalités négatives se trouvent en amont de la chaîne de valeur, autour et dans les exploitations forestières en Amérique du Nord alors que les avantages pour les locaux se retrouvent au Royaume-Uni (créations d'emplois, redynamisation d'un cluster industriel, mécénat des établissements scolaires). Les principes de justice distributive au cœur des enjeux d'acceptabilité locale sont actuellement en défaut pour le déploiement du BECCS. C'est pourquoi les opposants britanniques accusent encore Drax de perpétrer une tragédie humaine.

The American lung association has said that it does not support industrial biomass burning. [...] That's incredibly concerning! Obviously when we started to phase out coal, it was thought that our air pollution would improve but since a lot of our coal phase-out [air pollution] has been offset by increases in bioenergy [air pollution]. [...] And these wood pellet plants, which process, the whole trees that are cut down from the forests and bursts them into wood pellets. They're often [located] in poor communities with people of colour and these factories are enormous, noisy and polluting. They pollute the water and the air. It's a real tragedy, it's a human tragedy! [Responsable campagne AxeDrax à BiofuelWatch, propos recueillis par Auclair, 2022]

Devant ces faits, l'influente association états-unienne National Association for the Advancement of Colored People (NAACP) se positionne pour dénoncer du « racisme environnemental »¹⁰³. Cette notion se définit par « un alignement entre les mesures politiques pour l'environnement et les pratiques industrielles dans le but de fournir des richesses aux personnes blanches tout en transférant les coûts environnementaux et sociaux de l'industrie aux personnes de couleur » (Bentlyewski et Juhn, 2021). La bioénergie, que ce soit par la combustion de biomasse ou la production de biocarburants, est aussi la cible depuis quelques années de critiques concernant l'éco-colonialisme, une forme d'accaparement des ressources organiques des pays du Sud, qui étaient autrefois d'anciennes colonies européennes, au profit des pays du Nord, plus industrialisés. Les effets de cette prédation de biomasse sont largement documentés avec des destructions d'écosystèmes locaux, des diminutions des rendements agricoles et des conflits d'usage sur l'eau et les terres avec des communautés vulnérables (Aguilar-Gonzalez, 2018). Les stratégies de croissance de la bioénergie en plus d'être risquées pour l'environnement se révèlent particulièrement inéquitables entre les nations, où les privilèges énergétiques des nations industrialisées, principales responsables du

¹⁰³ Publication de GreenPeace sur les accusations de racisme environnemental :

<https://unearthed.greenpeace.org/2022/09/26/drax-accused-environmental-racism-further-pollution-claims-against-wood-pellet-mills-us/>

réchauffement climatique, sont maintenus aux dépens du développement humain et économique de nations moins favorisées (Hickel et Slamersak, 2022). Même si l'exploitation de biomasse de Drax ne se fait pas dans les pays du Sud, celle-ci illustre parfaitement les problématiques locales de distribution des richesses sur des chaînes de valeur transnationales comme c'est le cas pour la technologie BECCS.

It was very unfortunate that Drax's biomass use was being billed as something great in one part of the world but is causing so much misery to people on the other side.
[Katherine Egland, Chairwoman of NAACP, propos recueillis par Sam Quashie-Idun, 2022]

Au-delà d'un monde plus vert, les oppositions se mobilisent aussi pour réclamer un monde plus juste. Ils désirent que la transition écologique ne soit pas seulement le changement d'une forme de production d'énergie vers une autre, mais aussi un changement dans les relations de pouvoir et de justice entre les peuples et les nations. C'est pourquoi, le BECCS, tel qu'il est déployé par Drax, est une forme de néo-extractivisme qui ressemble dans ses modes de productions comme dans les relations de pouvoir qu'il établit le long de sa chaîne de valeur, à l'ancienne exploitation des énergies fossiles (Tittor, 2021).

Coïncidemment, les modes d'action des opposants à la bioénergie ressemblent à ceux des opposants au charbon. En 2009, des militants avaient bloqué un train d'approvisionnement de la centrale pour ensuite grimper sur les wagons et décharger par pelletés, pendant plus de 16 heures les 1000 tonnes de charbon sur les rails¹⁰⁴. Leur geste devait attirer l'attention sur l'usage de ce combustible polluant par la centrale. En 2021, de la même manière, des manifestants se sont placés sur les rails pour arrêter le train et sont ensuite montés sur les wagons pour attirer l'attention sur les dangers susmentionnés de l'exploitation des pellets de bois¹⁰⁵. Les militants d'AxeDrax communiquent activement sur les réseaux sociaux comme Facebook, Youtube ou X/Twitter pour attirer l'attention sur les ravages de cette industrie. Ils relaient encore les reportages ou articles à charge contre la centrale. D'autres actions à plus fort impact médiatique sont menées comme des projections sauvages de message dénonçant les dangers pour la biodiversité sur les immenses tours de refroidissements ou encore des manifestations avec des banderoles et des affiches portant des messages similaires devant les assemblées générales de Drax.

¹⁰⁴ Consulté sur le site de TheGuardian en 2023 : <https://www.theguardian.com/environment/2009/sep/04/drax-protesters-sentenced>

¹⁰⁵ Consulté sur le site de la BBC en 2022 : <https://www.bbc.com/news/uk-england-york-north-yorkshire-59276472>



Figure 28 : à gauche, projections de messages de protestations sur les tours de refroidissement de la centrale en 2020 ; à droite, manifestation devant l'Assemblée générale de Drax en 2023

Les arguments qu'ils font valoir se retrouvent sur des acceptabilités de principe pour l'urgence climatique et la préservation de la biodiversité et des acceptabilités locales pour la pollution atmosphérique et le respect des communautés locales. Nous constatons que ces associations locales mêlent des acceptabilités de différents pôles dans leur récit d'opposition et ne restent pas cantonner d'une part à un argumentaire NIMBY trop local ou d'autre part, à une dénonciation exclusivement globale et théorique de la technologie BECCS.

I think just to sum up the main four things that we tend to focus on when we campaign against industrial bioenergy [are] the climate impact, the biodiversity impacts, air pollution and the impact on communities. [Responsable AxeDrax de BiofuelWatch, propos recueillis par Auclair, 2022]

L'élargissement de leurs argumentaires permet de sensibiliser un public large, ceux qui sont sensibles à la survie de la biodiversité comme ceux qui se battent pour le respect des droits des plus fragiles. Ainsi, la contestation s'étend au-delà des frontières des associations mobilisées et imprègne les récits des médias de masse comme nous l'avons vu dans l'État de l'art avec les travaux d'Haikola (2019). Pour le cas de Drax, le dernier exemple marquant est un reportage audiovisuel de la BBC d'une durée de 40 minutes diffusé à 20 h, un horaire de grande audience, le lundi 3 octobre 2022 et intitulé : « The Green Energy Scandal Exposed » (*Le scandale de l'énergie verte dévoilée* en français). Le reporter Joe Crowley expose, suite à une enquête de 6 mois, les conséquences de la déforestation issue de la production de pellet et le risque climatique de la combustion de biomasse à une échelle industrielle¹⁰⁶. Plus important encore que la BBC, le secrétaire d'État pour l'Industrie et l'Énergie, Kwasi Karteng, déclare publiquement en août 2022 que l'importation des pellets de

¹⁰⁶ Consulté sur le site d'EnergyNews en 2022 : <https://www.energylivenews.com/2022/10/07/drax-issues-new-statement-on-bbc-panoramas-green-energy-scandal-claims/>

bois outre-Atlantique pour la centrale de Drax n'est ni durable, ni sensé¹⁰⁷. Mais c'était seulement quelques jours avant d'être limogé de son poste par la nouvelle première ministre d'alors, Liz Truss. Il reste une voix isolée dans le paysage politique britannique.

III. Une légitimité politique fragilisée par un bilan économique bancal

En effet, le soutien politique du gouvernement pour Drax reste généralement constant dans le discours, mais surtout sur le plan économique. Depuis le début des travaux de conversion en 2012 jusqu'au début de l'année 2022, la compagnie de bioénergie a reçu, selon les calculs du Think Tank Ember, plus de £5,6 milliards en subventions nationales. Ce montant devrait encore croître jusqu'en 2027, date de la fin du contrat actuel entre l'État et Drax, pour dépasser les £11 milliards. Ces subventions sont réparties entre les ROCs (Renewables Obligations Certificates) et les CfD (Contract for Difference) dont nous avons parlé plus haut. Sur l'intégralité de la durée du contrat, 70 % de ce montant proviendrait des ROCs et le reste des CfD.

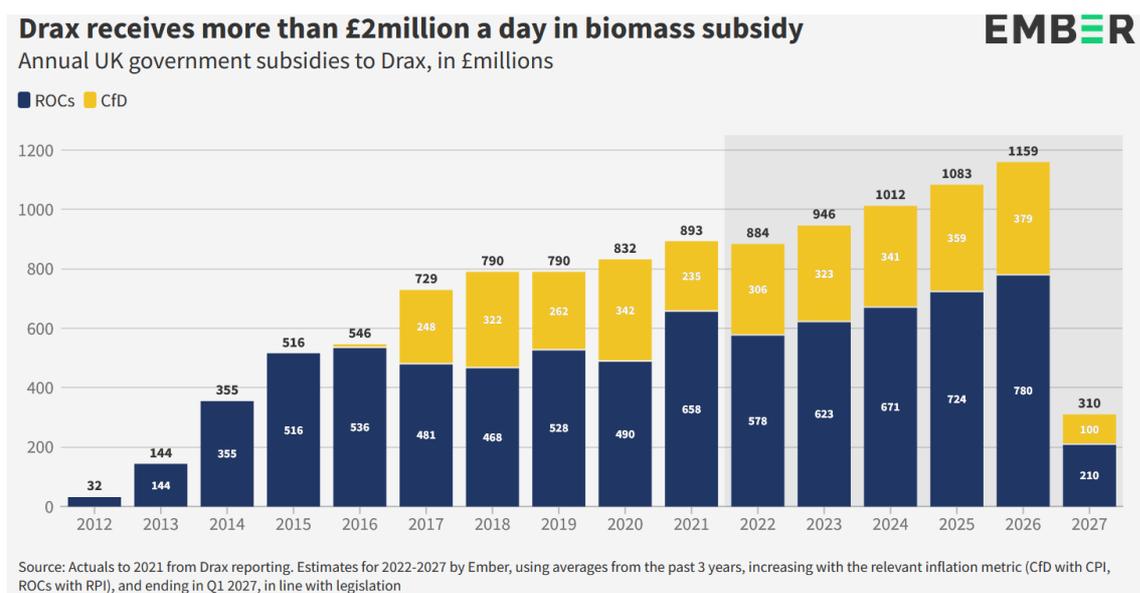


Figure 29 : Évolution des subventions reçues par Drax depuis 2012, Ember 2022

Nous notons aussi qu'en plus de subventionner la production de bioénergie, la compagnie Drax devra encore faire appel à la générosité du gouvernement pour la construction des infrastructures aval de sa chaîne de valeur, soit le captage et le transport du dioxyde de carbone. Le chantier était estimé en 2023 à £2 milliards¹⁰⁸, c'est-à-dire qu'avec les montants déjà investis dans la bioénergie

¹⁰⁷ Consulté sur le site de TheGuardian en 2023 : <https://www.theguardian.com/environment/2022/aug/11/burning-imported-wood-in-drax-power-plant-doesnt-make-sense-says-kwarteng>

¹⁰⁸ Consulté sur le site de Reuters en 2023 : <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/britains-drax-pauses-biomass-carbon-capture-plans-urges-clarity-government-2023-03-21/>

il eut été possible de financer cinq unités CCS capables de stocker 8 MT de CO₂ par an. Ces chiffres donnent la mesure des coûts nécessaires pour cette technologie et expliquent au moins partiellement la lenteur et les hésitations qui émaillent son développement à grande échelle.

Ajoutons que ces subventions sont essentielles pour l'équilibre du bilan comptable de Drax puisqu'elles représentent en moyenne jusqu'en 2021, près de 20 % du chiffre d'affaires annuel alors que les profits nets sont structurellement en moyenne de quelques dizaines de millions de £. Les profits ayant exceptionnellement été négatifs en 2020 à cause de la crise du Covid et d'une baisse de la demande d'énergie¹⁰⁹. Sans les subventions, il est donc évident que Drax ferait à nouveau banqueroute.



Figure 30 : à gauche, le chiffre d'affaires de Drax (en milliards de £) ; à droite, les profits de Drax (en millions de £), *Financial Times 2023*

Après 2027, quand le contrat de subventions arrivera à son terme les fonds manqueront inévitablement pour continuer les opérations. Lors de notre visite de la centrale à l'été 2022, les responsables, que nous avons rencontrés, nous ont parlé des deux stratégies envisagées pour faire face à cette perte de revenus. La première trajectoire était celle d'une réduction drastique des coûts d'approvisionnement et d'opérations afin de dégager des profits le marché compétitif de l'énergie britannique. La seconde correspond au développement d'une unité CCS et aboutir à la transformation en BECCS qui permettra, soit de vendre un produit supplémentaire – les émissions négatives –, soit d'obtenir à nouveau des subventions dans le cadre de la stratégie nationale de décarbonation.

¹⁰⁹ Consulté sur le site de Reuters : <https://www.reuters.com/article/idUSKCN2240P4/>

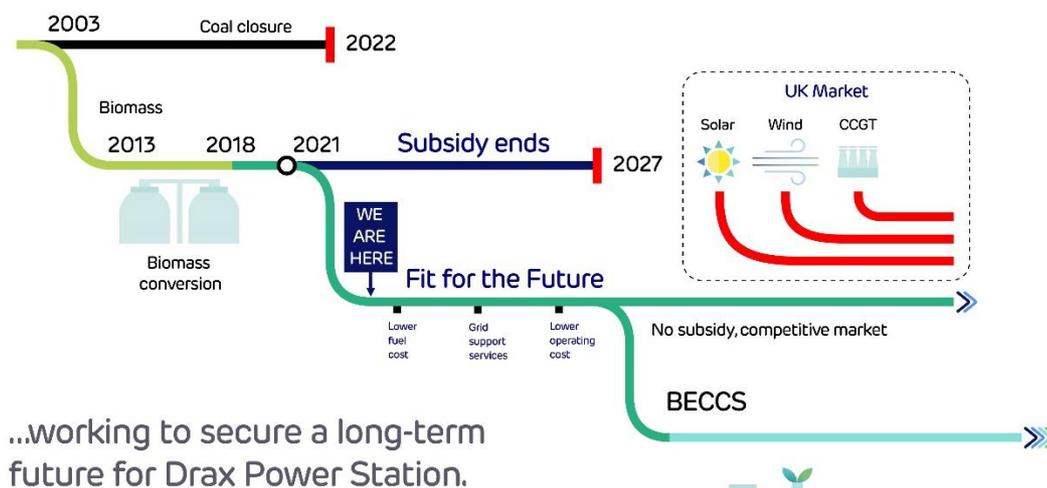


Figure 31 : Stratégies de développement de Drax pour les années à venir, Drax 2022

En plus de contester ces stratégies, les opposants réclament la fin des subventions ROCs et CfD avant le terme du contrat en 2027. Ayant connaissance de l'absence de rentabilité, ils savent que sans ces subventions la centrale sera déficitaire et cessera de fonctionner « naturellement ». Ainsi en réclamant la fin des subsides, ils demandent ni plus ni moins que la fermeture de la centrale. Toutefois en introduisant leur demande par l'intermédiaire de la cessation du contrat entre l'État et la compagnie privée, ils font apparaître un nouvel enjeu d'acceptabilité que nous plaçons entre les pôles locaux et de principe. C'est l'acceptabilité des choix politiques de soutien à la technologie et particulièrement les formes et les procédures par lesquelles ce soutien se matérialise.

Cette acceptabilité d'interpôles, bien qu'elle concerne la même technologie que les autres acceptabilités, diverge par les acteurs ciblés et les revendications présentées. Les associations qui contestent la distribution des subventions organisent des actions non pas sur des activités de Drax, mais devant le ministère de l'industrie et de l'énergie britannique. En avril 2022, quelques manifestants vêtus de combinaisons de chantier ont aspergé à l'aide d'un extincteur modifié les murs du ministère londonien de peinture orange. L'un d'eux est même grimpé sur le portique de l'entrée pour afficher des banderoles indiquant : « Stop Burning Trees » (*Arrêtez de brûler des arbres* en français) et « Rise Up for Reparations » (*Levez-vous contre les compensations* en français)¹¹⁰.

En transférant la cible de leurs actions des activités industrielles à un organe politique, les associations montrent que ce n'est pas seulement la légitimité écologique du BECCS qui est en question, mais aussi sa légitimité politique. Le choix de distribuer des subventions pour le BECCS de Drax peine à trouver des justifications économiques. En effet, à ses débuts, une innovation peut

¹¹⁰ Consulté sur le site de The DailyMail en 2023 : <https://www.dailymail.co.uk/news/article-10758361/AxeDrax-eco-zealots-douse-government-department-orange-PAINT-Stop-Burning-Trees-protest.html>

avoir besoin de subventions pour entrer sur un marché et commencer à se développer suffisamment largement pour engranger des économies d'échelles. Les technologies de production d'électricité photovoltaïque ou solaire ont suivi ce schéma. D'abord soutenues par l'État, elles ont vu leurs coûts rapidement baisser jusqu'à ne plus avoir besoin d'aide publique¹¹¹. Ce n'est pas le cas du BECCS dont les coûts ne font que croître malgré les importantes subventions déjà versées. Il devient de plus en plus difficile de poursuivre ce programme de soutien dans le cadre d'un décollage économique de l'innovation.

The official line will be that it's not good value for money. For the past few years within government and policy states in the UK, I think there's been an increasing concern that burning biomass might be not very good for the environment and concerns about its cost [have also emerged]. As for new wind and solar, it becomes so much cheaper it's now very easy to just say we won't try where the biomass is, good or bad, we just don't need it. We'll just cut subsidies for it because we'll have plenty of wind and solar. [Analyse Ember, propos recueillis par Auclair, 2022]

Sans légitimité écologique, ni crédibilité économique, il ne reste au BECCS que sa légitimité politique. Celle-ci s'appuie sur la stratégie de décarbonation nationale qui prévoit l'installation d'une capacité de captage et de stockage de CO₂ entre 20 à 30 MT dès 2030¹¹². Drax n'est pas mentionné directement dans ce document, mais sa capacité projetée de 8 MT d'émissions négatives, environ 30 % de la capacité totale, est comptabilisée dans les schémas du document. Or des alternatives pour la décarbonation ont été ignorées au profit des technologies CCS. Ce qui s'apparente pour les opposants à une décision technocratique imposée par le gouvernement national.

À la lumière de certaines informations, cette décision laisse même supposer au pire un favoritisme et au mieux un manque d'impartialité des décideurs politiques. DeSmog, un journal d'investigation écologique, a par exemple mesuré à partir des agendas publics des ministères le nombre d'entretiens entre des hauts fonctionnaires et des responsables de Drax. Entre juillet 2019 et mars 2021, durée sur laquelle s'étend l'analyse, le gouvernement participa à neuf fois plus de rendez-vous avec des acteurs des filières oil&gas et bioénergie qu'avec ceux des filières photovoltaïques, solaires ou nucléaires. Parmi ceux-ci, des responsables de Drax ont rencontré des membres du gouvernement 31 fois en vingt mois soit un entretien officiel tous les vingt jours en moyenne, dont neuf directement avec le ministre à ce moment. Cette quantité de rendez-vous et surtout la disproportion avec les autres acteurs interrogent les opposants sur un éventuel favoritisme politique. En tout cas, cette

¹¹¹ Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado (2020) - "Renewable Energy" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>

¹¹² CCUS Net Zero Investment Roadmap, Avril 2023

analyse n'est pas passée inaperçue auprès de l'association AxeDrax et elle a encore été relayée dans des médias grand public comme The Guardian¹¹³ questionnant la légitimité politique de la conversion de la centrale et l'impartialité de la décision de soutien pour celle-ci.

If I was being even more cynical [about government support for Drax] is thanks to the enormous number of meetings that DRAX officials are having with government officials. [DeSmog journalists] compared the number of meetings the BEIS had with Drax to the number of appointments that BEIS had with executives from genuine renewables: solar, and wind, et cetera. It was completely disproportionate. [Responsable AxeDrax de BiofuelWatch, propos recueillis par Auclair, 2022]

Ces nombreux rendez-vous montrent aussi un gros effort de *lobbying* de Drax qui n'est pas assuré que les subventions se poursuivent au-delà de 2027. Des haut-fonctionnaires ont témoigné auprès du journal DeSmog pour décrire la stratégie d'influence de Drax sur les différents départements du ministère de l'Industrie et de l'Énergie afin d'obtenir une décision en sa faveur¹¹⁴. À la lumière de ces informations, la position de Drax est claire, mais il est surprenant de voir la facilité d'accès des cadres de Drax auprès des instances gouvernementales. Celle-ci s'explique par les profils recrutés par la compagnie depuis le début de sa conversion. Sentant la nécessité d'entretenir des relations de proximité avec la puissance publique, les directeurs de l'entreprise ont débauché plusieurs hauts fonctionnaires pour rejoindre leur département de relations publiques. Ce vivier de nouvelles recrues donne à Drax un avantage en termes d'accès et d'influence auprès des décideurs ministériels.

I do think the Drax PR machine is like is very effective. There's a lot of people who work for Drax who used to be civil servants. They're top of high-ranking policy experts who work for Drax, who usually have a lot of experience working in public affairs. [Reporter au journal d'investigation DeSmog, propos recueillis par Auclair, 2022]

Cette stratégie de recrutement, qui s'apparente à une tactique commerciale, quand on connaît la dépendance économique de Drax aux subsides nationaux, loin de renforcer la légitimité politique de la technologie BECCS risque même de l'affaiblir en cas de scandale. En effet, cette proximité entre les cadres de la centrale et l'État fait peser des soupçons de conflits d'intérêts comme ce fut le cas dans l'affaire Rebecca Heaton.

Pendant quatre ans, Rebecca Heaton était en même temps, directrice du département développement durable et politique de Drax et conseillère du gouvernement britannique au sein du Climate Change

¹¹³ Consulté sur le site de The Guardian en 2023 : <https://www.theguardian.com/environment/2021/sep/10/uk-ministers-met-fossil-fuel-firms-nine-times-more-often-than-clean-energy-companies>

¹¹⁴ Article du journal d'investigation Desmog paru en 2023 : <https://www.desmog.com/2023/01/24/drax-lobbying-efforts-revealed-in-internal-treasury-memos/>

Committee (CCC). Suivant des soupçons de conflits d'intérêts dans la formulation des recommandations budgétaires pour la décarbonation de 2033 à 2037 du Royaume, une enquête parlementaire est commandée par Lord John Randall en juillet 2021 au sujet du double-rôle de Rebecca Heaton. Il l'accuse d'avoir, grâce à son influence au comité, donné un avantage commercial injuste à sa compagnie dans les lois de programmation budgétaires. Dès l'ouverture du dossier, Rebecca annonce sa démission du *Climate Change Committee* mettant fin à l'enquête¹¹⁵.

Given the significant commercial interests of [Rebecca] employer, Drax, in the policies on which these committees are advising government, I believe that there may be a real or perceived conflict between her role with Drax and her ability to offer impartial expert advice on such policies. [I] request the National Audit Office examine whether Heaton's roles allowed Drax to gain an unfair commercial advantage through the influence its employee may be having on the advice and formulation of policy in an area in which Drax operates.
[Extrait de la lettre de Lord J. Randall demandant une enquête parlementaire, National Audit Office, juillet 2021]

Bien que cette enquête ait rapidement été classée sans suite, les opposants d'AxeDrax dénoncent régulièrement la partialité du gouvernement dans le projet de conversion BECCS. Comme ce fut encore le cas avec une fuite de textos entre le ministre et le directeur de Drax en décembre 2023. Dans ces quelques messages interceptés, le ministre semble rassurer le directeur sur la prolongation des subventions après 2027¹¹⁶. Même si le crédit que l'on est en mesure d'accorder à de telles révélations reste faible, elles n'en démontrent pas moins une perte de légitimité politique de la solution BECCS qui apparaît de plus en plus, à Drax en tout cas, comme un arrangement technocratique entre la direction d'une compagnie privée et de grands décideurs politiques. Les opposants dénoncent ainsi, non plus une technologie particulière, mais une faille de démocratie dans ce choix technologique.

L'injustice politique se révèle dans la différence des pouvoirs d'influence entre Drax et les militants. La conversion BECCS est traitée comme un choix privé alors qu'il s'agit d'un choix public à trois niveaux. D'abord, écologiquement car la dégradation de la biodiversité et du climat a un impact sur tous les citoyens ; ensuite économiquement, car ce sont les contribuables qui assurent la continuité des opérations ; et enfin politiquement, car un choix aussi majeur que la conversion de la plus grosse centrale britannique concerne tous les consommateurs du pays.

¹¹⁵ Consulté sur le site du FinancialTimes en 2023 : <https://www.ft.com/content/36c582e9-24af-425b-8952-054153ac5609>

¹¹⁶ Consulté sur le site de TheTimes en 2023 : <https://www.thetimes.co.uk/article/drax-will-keep-burning-a-hole-in-all-our-pockets-27ptlvktq>

La critique dépasse le cadre d'une mauvaise distribution des subventions pour s'étendre à une organisation des relations de pouvoir qui dépose entre les mains des producteurs d'énergie une plus grande influence que dans celles des consommateurs, des contribuables ou des citoyens. Les intérêts de Drax qui ne concordent pas nécessairement avec l'intérêt de ces derniers, les prises de décisions souffrent d'un biais qui est critiqué par les militants. D'autant que malgré leurs efforts, les opposants ne disposant pas des mêmes moyens humains et matériels, peinent à faire passer leur message aux dirigeants. L'impartialité dans les choix politiques en soutien à cette technologie est un des enjeux de cette acceptabilité d'interpôles.

We don't have significant private access to government. It's very hard for us to get them around the table and talk to face to face. I think that that might be less the case with someone like Drax, who has a much bigger organisation, have a lot more money than us, and have a whole group dedicated of lobbying politicians. I think we have a lot more limited lobbying power, as you put it, compared to Drax. [Analyste Ember, propos recueillis par Auclair, 2022]

Faire le choix de conserver la capacité de production de Drax malgré la transition post-fossile ne revêt aucune légitimité politique et ne semble être au final un choix gagnant ni pour le gouvernement ni pour les exploitants de la centrale. Son arrêt simple suivi de son démantèlement coûterait certainement des millions en travaux, mais cette action mettrait surtout en danger la sécurité énergétique du Royaume-Uni pendant de nombreuses années. Ce choix difficile fut justifié lors de l'hiver 2022 lorsque le gouvernement a rappelé la nécessité de conserver une telle puissance de production en autorisant la remise en route temporaire des deux fourneaux au charbon restants en pleine crise d'approvisionnement du gaz russe¹¹⁷. Le cas de Drax illustre parfaitement les contraintes des dépendances au sentier et les conséquences que celles-ci peuvent avoir dans le cadre d'une transition écologique. Drax, de par son type de production, est un ovni dans le paysage énergétique britannique, mais qui est virtuellement irremplaçable de par sa capacité de production. Construire une capacité de production équivalente, correspondant à une dizaine de millions de foyers, prendrait de nombreuses années et par conséquent, mettrait gravement en danger l'industrie et l'économie britannique.

Hormis la dépendance du Royaume-Uni à la capacité de production de Drax, la centrale ne dispose d'aucun ancrage socio-politique pour enclencher cette conversion dans de bonnes conditions. À cause des débats sur la neutralité carbone de la biomasse et la préservation de la biodiversité, son avantage écologique est controversé. À cause de son bilan économique structurellement déficitaire

¹¹⁷ Consulté sur le site de TheGuardian en 2023 : <https://www.theguardian.com/business/2022/jul/06/drax-agrees-to-extend-life-of-coal-fired-power-units-over-winter>

et de ses besoins essentiels en subventions, sa crédibilité économique est en défaut. À cause de l'opacité des décisions politiques la concernant et des soupçons de conflits d'intérêts, sa légitimité politique est absente. Ajoutons encore qu'à cause des conséquences sociales et sanitaires de l'industrie de production de pellets, les craintes d'une dégradation des droits humains sont vives.

Avant même l'émergence complète du BECCS, les problématiques d'acceptabilité de principe, d'interpôles et locales sont déjà nombreuses et sévères. Alors que celles-ci ne concernent que la partie amont du BECCS, c'est-à-dire la production de bioénergie, des enjeux d'acceptabilité locale apparaissent sur la partie aval, le transport et le stockage du carbone, avec des conflits d'usage et des risques technologiques.

IV. Le salaire de la peur dans un tuyau ? Les dangers des pipelines de CO₂

Améliorer sa crédibilité économique et retrouver une légitimité politique sont des enjeux primordiaux pour Drax pour lesquels la direction développe une stratégie originale. En prenant l'initiative de développer un cluster de carbone dans la région industrielle de l'estuaire du Humber au nord-est de l'Angleterre, la société cherche à réduire son investissement en mutualisant les coûts de l'infrastructure de transport, à revitaliser une zone industrielle fortement émettrice et surtout à s'insérer dans le programme de décarbonation national.

Le Royaume-Uni fait des technologies de captage et de stockage du carbone une priorité de sa stratégie de décarbonation. Les raisons sont triples. D'abord, la décarbonation de l'industrie locale permettra de conserver ces usines sur le territoire malgré le durcissement des limitations d'émissions carbone. Ensuite, en pariant sur la croissance de cette technologie, le Royaume-Uni veut se positionner comme expert mondial. Enfin, la présence de nombreuses zones de stockage donnera l'opportunité de vendre des espaces de stockage à des producteurs de carbone étrangers. Force est de constater que ces technologies apparaissent de plus en plus aux yeux des politiciens comme des relais de croissance économique.

The UK has the potential to be one of the greatest CO₂ storage bases in Europe, with billions of tonnes worth of storage – opening up economic growth and exciting global investment opportunities. [Grant Shapps MP – Secretary of State for Department for Energy Security and Net Zero, Avril 2023]

Suivant ce programme, le gouvernement prévoit le développement avant 2030 de trois clusters, des regroupements d'industries interconnectées pour transporter le carbone. Ces clusters de la Track-1

rassemblent les régions de Merseyside, du Teesside et du Humberside dans laquelle se trouve Drax. D'autres clusters pourraient voir le jour après 2030. Au total ce ne sont pas moins de sept regroupements qui sont envisagés par le gouvernement.

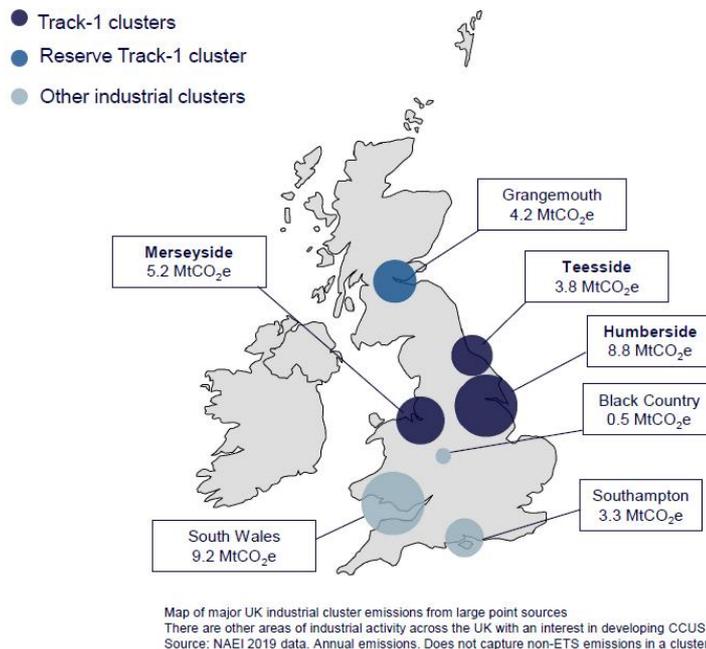


Figure 32 : Carte des projets des 7 clusters net zero du Royaume-Uni, Investment roadmap, avril 2023

Mais tous ces projets ne verront le jour qu'à la condition que des pipelines de transport de dioxyde de carbone et parfois d'hydrogène soient construits pour relier ensemble toutes les entreprises polluantes. Dans le cas du Humberside, le pipeline mesurera plus de 120 kilomètres. Son extrémité à l'ouest sera l'unité de captage de la centrale de Drax et à l'est, le terminal gazier d'Easington. À partir de là, des navires devraient transporter le gaz liquéfié jusqu'aux zones de stockage offshore. Sur son trajet, le tuyau traversera au moins cinq zones industrielles et même s'il contourne la ville de Hull largement peuplée (environ 260 000 habitants en 2021), il passera au milieu de la ville de Scunthorpe, moins densément peuplée (environ 70 000 habitants en 2021) et d'autres villages plus modestes.

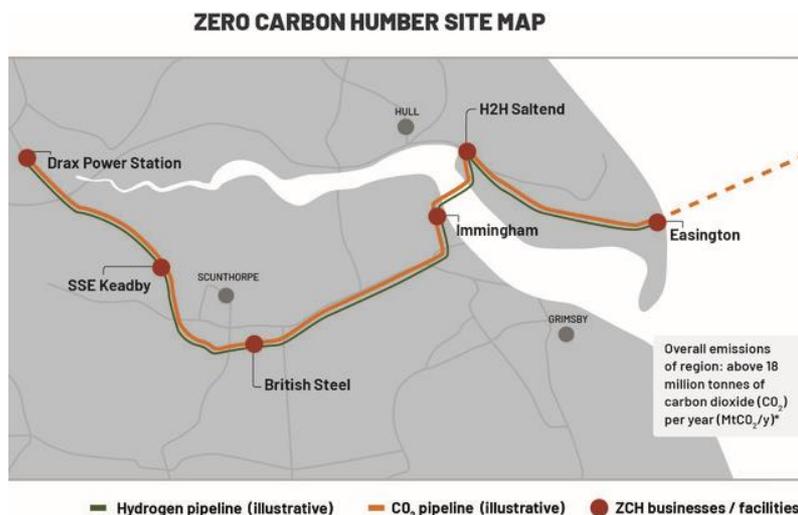


Figure 33 : Tracé prévisionnel du pipeline de transport de CO₂ entre Drax et les rives de la Mer du Nord, National Grid 2022

Un tel projet, même s'il semble réalisable au regard des nombreux pipelines existants pour le transport des hydrocarbures, devra affronter de nombreux obstacles inédits tant économiques, que politiques et administratifs. En effet, le CO₂ a un comportement thermodynamique bien différent de celui du gaz naturel. Par exemple, la pression à laquelle doit être maintenu le CO₂ pour rester liquide est plus de deux fois plus intense que celle requise pour le gaz naturel. Il en résulte que pour résister à cette pression, les tuyaux doivent être bien plus épais et donc plus lourds et plus coûteux¹¹⁸. En plus d'un investissement initial conséquent estimé à £150 millions, des frais de maintenance et d'exploitation annuels entre £2 et £4 millions sont attendus (Lazic et al, 2016). Toutefois, ces chiffres au regard de l'investissement total du BECCS à Drax (plus de £2 milliards) ne sont pas si problématiques.

Le véritable problème réside dans les enjeux d'acceptabilité locale et particulièrement dans la perception du risque par les riverains. C'est là qu'intervient, pour les promoteurs, la dimension structurante du NIMBY. Ces enjeux sont encore invisibles pour la société civile, car très peu médiatisés et surtout pas encore en chantier, mais ils sont bien concrets à un échelon plus administratif sur les procédures de sécurité et arrangements institutionnels.

Un responsable du département Health and Safety Executive (HSE), l'organisme chargé de toute la réglementation de la sécurité industrielle au Royaume-Uni, que nous avons interrogé nous a ouvert sur ces discussions confidentielles entre promoteurs et régulateurs. L'institution nationale n'est pas encore satisfaite des garanties de sécurité d'un tel projet pour délivrer une autorisation de construction dans une zone densément peuplée. Les autorités ont bien conscience des conséquences

¹¹⁸ Rapport du Global CCS Institute sur le coût du transport du dioxyde de carbone en 2020 : <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/119811/costs-co2-transport-post-demonstration-ccs-eu.pdf>

« massives » qu'un accident, une fuite ou une fracture de pipeline risquent d'avoir sur la population. Elles sont donc très précautionneuses avant de délivrer des autorisations. Il s'agit encore de fournir suffisamment de garanties aux habitants qui lors d'une consultation publique à l'automne 2021 sur ce projet ont majoritairement soulevé la question de la sécurité et des dommages environnementaux causés par une telle structure¹¹⁹.

One of the pipelines being proposed goes to a very densely populated area. The problem is, how do you get to that point of confidence before we say yes from a pipeline design perspective, everything is fine. There's a lot of assurance that needs to go in place because the implication of getting it wrong is massive and that is where the government has to be, Health & Safety department have to be extremely careful in terms of approving. [Responsable de la division énergie de la direction Santé et Sécurité (HSE), propos recueillis par F.Auclair, 2022]

Actuellement, les mesures de sûreté pour le transport du pétrole ou du gaz naturel ne s'appliquent pas sur le transport du dioxyde de carbone liquide en raison de la différence des propriétés physico-chimiques. De nouveaux standards de sécurité restent encore à inventer et ceux-ci semblent particulièrement exigeants. Par exemple, le gaz naturel étant plus léger que l'air, l'ajout de torchères, des cheminées hautes pour brûler les gaz, à certains endroits du pipeline permet de canaliser la fuite et d'éviter les risques d'explosion ou d'incendie. En revanche, le CO₂ plus lourd que l'air ne montera simplement pas dans la torchère et va inévitablement s'accumuler sur le lieu de la fuite. Comme il s'agit d'un gaz hautement asphyxiant, aucune intervention humaine ne pourra être engagée sans équiper les techniciens de combinaisons adaptées, compliquant d'autant l'arrêt de l'incident. Une autre difficulté évoquée par le responsable interrogé est la température à laquelle le dioxyde de carbone sortira en cas de fuite. Contrairement au gaz naturel, une fuite de CO₂ entraînerait une baisse drastique de sa température qui endommagerait l'acier des tuyaux, aggravant encore la fuite sur laquelle, pour l'instant, aucune opération de réparation n'est déjà possible. Dans ces conditions, on imagine facilement les raisons de la réticence des autorités à approuver un tel projet.

What happens in oil and gas infrastructure if a gas leaks, you shut everything and you open your flare system and basically all the hydrocarbon goes there so that there is no accumulation of hydrocarbon and there's no explosion. When it comes to CO₂, the problem is when it comes out it will just replace oxygen in the area and how do you deal with that problem? [Moreover] CO₂ comes out at a very cold temperature. It may cause the steel to reduce to such a point where the structure collapses or it becomes in brittle. So yeah, I think

¹¹⁹ Humber Low Carbon Pipelines project, project brochure, mars 2022

there are many bridges that needs to be closed before we finally get to CCS reality.

[Responsable de la division énergie de la direction Santé et Sécurité (HSE), propos recueillis par F.Auclair, 2022]

Ces incertitudes sur les régulations de sécurité afférentes au transport du dioxyde de carbone ne sont pas nouvelles. Elles avaient déjà été identifiées dans un mémo gouvernemental : la PostNote 335 de juin 2009¹²⁰. Depuis cette date, aucune mesure n'a été trouvée pour s'assurer de la sécurité du transport du carbone par pipeline dans des zones habitées. Ainsi, contrairement à la pensée des promoteurs, la translation des zones de stockage en offshore ne fait pas disparaître les enjeux d'acceptabilité locale des technologies CCS. En attendant de résoudre ce problème du transport, un obstacle techno-administratif d'une autre nature risque cette fois de limiter le stockage en mer.

V. *Moins de carbone, plus de vent ? Les conflits d'usage en mer du Nord*

Un des piliers du développement du CCS en Grande-Bretagne réside dans la maîtrise de la transformation des gisements off-shore en réservoirs de stockage de carbone et dans la grande disponibilité de ces zones le long des côtes britanniques. Le Royaume dispose de suffisamment de gisements déplétés pour ne pas avoir à se soucier d'une limitation de quantités stockables. En plus de stocker ses propres émissions, il pourra aussi vendre de l'espace de stockage à d'autres pays européens.

Toutefois, cette stratégie ne prend en compte que les estimations des géologues et omet de considérer les espaces qui seront impropres à l'injection du dioxyde de carbone à cause d'une profondeur d'eau insuffisante ou de conflits d'usages avec d'autres activités marines. Même si le CO₂ est stocké sous le plancher marin, laissant libre la surface au-dessus, les besoins de surveillance géologique du gisement requièrent que cette surface reste bien libre de toute infrastructure. En effet, les effets de l'injection d'un fluide sous-pression dans un réservoir souterrain doivent être régulièrement mesurés par des sondages et des relevés sismiques. En mer, des bateaux spécialement équipés laissent flotter dans leur sillage une large traîne avec des sonars. De cette manière, ils surveillent comment le fluide se diffuse dans le gisement et les modifications qu'il peut entraîner dans ce dernier. La longueur et la largeur de ces traînes atteignent facilement plusieurs centaines de mètres. Pour éviter toute gêne ou blocage lors des mesures, les surfaces marines doivent donc être complètement dégagées.

¹²⁰PostNote 335 du gouvernement britannique de juin 2009 sur le CCS

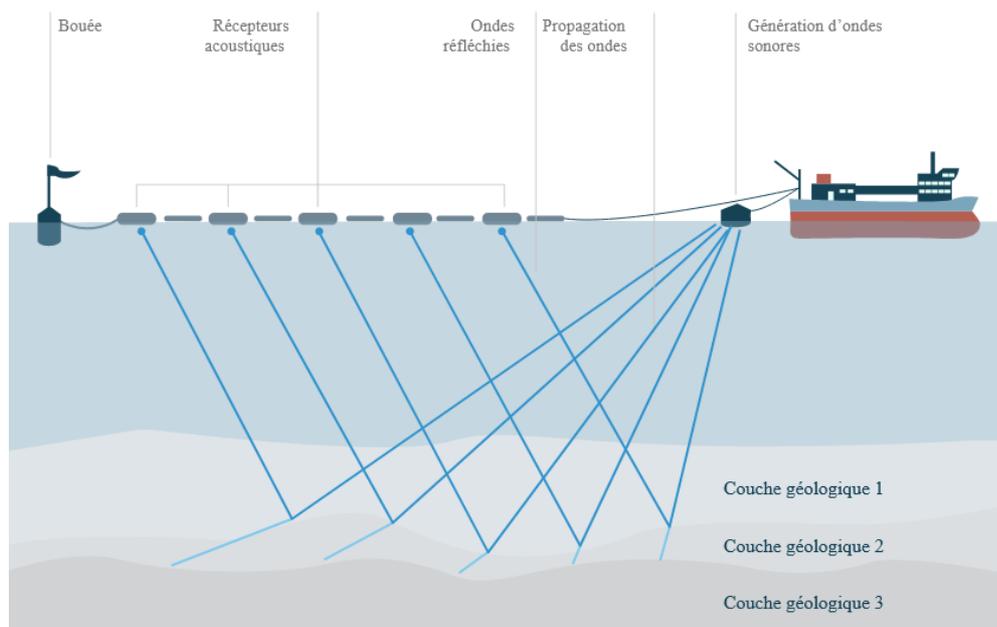


Figure 34 : schéma des processus de surveillance des gisements off-shore par bateau, source : cours du pétrole 2020

C'est ce besoin de surface marine totalement découverte qui peut générer de potentiels conflits d'usage entre toutes activités de la Mer du Nord, qui sont déjà bien nombreuses. Cette mer encerclée par la France, la Grande-Bretagne, la Norvège, le Danemark, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Belgique est une zone de transit maritime, d'exploitation d'hydrocarbures, de pêche et récemment de production d'énergie éolienne. L'espace y est, par conséquent occupé, par de nombreux « objets » comme des plateformes de forage, des balises, des gazoducs, des bateaux en attente et en circulation, des câbles sous-marins et de nombreuses éoliennes. Les éoliennes surtout présentes dans la moitié sud de la mer se situent au large de l'Angleterre, de l'Allemagne et du Danemark. Les mâts sont assez proches les uns des autres, séparés les uns des autres par un kilomètre maximum. Dans ces conditions, les grandes surfaces marines libres près des côtes sont rares et raréfieront encore davantage si d'autres fermes éoliennes voyaient le jour¹²¹. De tels projets interdiraient le passage des bateaux sondes et limiteraient par conséquent l'accès à plusieurs gisements offshore. La compétition entre ces différents usages a inévitablement un impact sur le potentiel de développement du CCS et corollairement du BECCS.

In the North Sea they're building [a lot of] wind turbines. Now, the problem is the carbon storage sites need to be identified before they're covered up with wind turbines or any other infrastructure, because once that happens, you cannot get a seismic operation into that area to do any monitoring. So there is [already] competition between existing platforms, spare buoys, pipelines, standby boats, the fishing fleet. Then now you've got all the wind turbines,

¹²¹ Publication de la North Sea Transition Authority sur l'avenir des tendances énergétiques
<https://northsearegion.eu/northsee/e-energy/future-energy-industry-trends/>

the standby vessels for those and the wind turbines are quite [close] about a kilometre apart.

[Consultant d'analyse géologique, propos recueillis par F.Auclair, 2022]

Pour départager les usages, le Royaume-Uni compte sur trois administrations-arbitres toutes spécialisées dans leurs domaines, mais aux intérêts parfois divergents. La première est *le Crown Estate*, une organisation qui gère le portefeuille des actifs associés à la Couronne britannique. Bien qu'elle puisse faire penser à une organisation gouvernementale, elle n'en est pas complètement une. Elle transfère ses recettes au ministère des Finances, mais elle dispose d'un directeur financier qui prend des décisions indépendantes du gouvernement et a par conséquent, un fort biais commercial. C'est une compagnie publique par les actifs qu'elle gère et par ses revenus qui appartiennent à l'État, mais son organisation interne et sa gouvernance sont de nature privée. Elle travaille cependant en étroite collaboration avec les autres institutions publiques comme le ministère de l'Industrie et de l'Énergie. Son rôle dans notre cas est de louer les fonds marins pour l'installation des projets énergétiques, sans pour autant délivrer les licences d'exploitation des surfaces qu'elle loue. Ces licences sont à demander à une seconde administration. Autrefois appelée *la Oil and Gas Authority*, celle-ci se nomme maintenant *la North Sea Transitional Authority*. Elle régule les activités industrielles dans les eaux territoriales britanniques de la Mer du Nord et attribue les licences entre les différents opérateurs. Enfin, la troisième administration est le ministère de l'Industrie et de l'Énergie (Business, Energy and Industrial Strategy ou BEIS en 2022). Nous avons déjà parlé plus haut de ce ministère qui s'investit dans le financement et l'élaboration du business-model des technologies CCS.

Avant de créer une zone de stockage offshore, un triple accord de ces trois administrations est nécessaire : le premier pour la location du fond marin, le second pour l'autorisation d'injection du dioxyde de carbone et le troisième pour le financement des opérations. De plus, ces trois organismes doivent aussi être d'accord entre eux sur le lieu et la forme du projet de stockage avant que celui-ci ne devienne réalité. Par exemple, un des consultants, travaillant sur ce dossier que nous avons interrogé, nous a fait part des discussions entre *le Crown Estate* et *la North Sea Transitional Authority*. Sur une certaine zone, *le Crown Estate* a dû informer l'autre autorité de son souhait de ne pas voir de licence attribuée immédiatement à des fermes éoliennes pour mettre à terme un réservoir de carbone.

I went on consulting with the Crown Estate Office and we had a concern about this because they work with the North Sea Transition Authority who released the licence. [The Crown Estate] wanted to make sure that there was no infrastructure around any potential carbon storage reservoirs in case they need them in years to come. They didn't want to have lots of wind turbines. [Consultant d'analyse géologique, propos recueillis par F.Auclair, 2022]

Malgré ces précautions, il arrive qu'en superposant les cartes de ces différentes administrations des zones de stockage chevauchent des surfaces dédiées aux fermes éoliennes. Ce fut notamment le cas pour une partie du réservoir de stockage consacré aux émissions négatives de Drax. Le gisement Endurance situé à 85 km du terminal gazier d'Easington présente toutes les propriétés géologiques et géophysiques propres à l'injection du dioxyde de carbone. Le réservoir est bien connu, car il avait déjà été pressenti pour servir de zone de stockage lors du projet White Rose en 2015 dont nous avons déjà parlé plus haut. Sa capacité de stockage, estimée à plus de 100 millions de tonnes de CO₂, est une des plus larges des gisements britanniques pour un coût de développement parmi les moins chers. Son excellent rapport qualité/prix est aussi dû à sa situation géographique, en eaux profondes, mais géologiquement peu profond, à moins de 100 km des côtes¹²². Sa position est tellement idéale qu'elle attire aussi les promoteurs d'énergies éoliennes qui voudraient installer sur celui-ci le mégaprojet Hornsea 4 de 180 éoliennes géantes. Les licences des deux projets se superposent partiellement (voir carte ci-dessous) et les ambitions de l'un de ces projets devront être réduites pour laisser la place à l'autre.

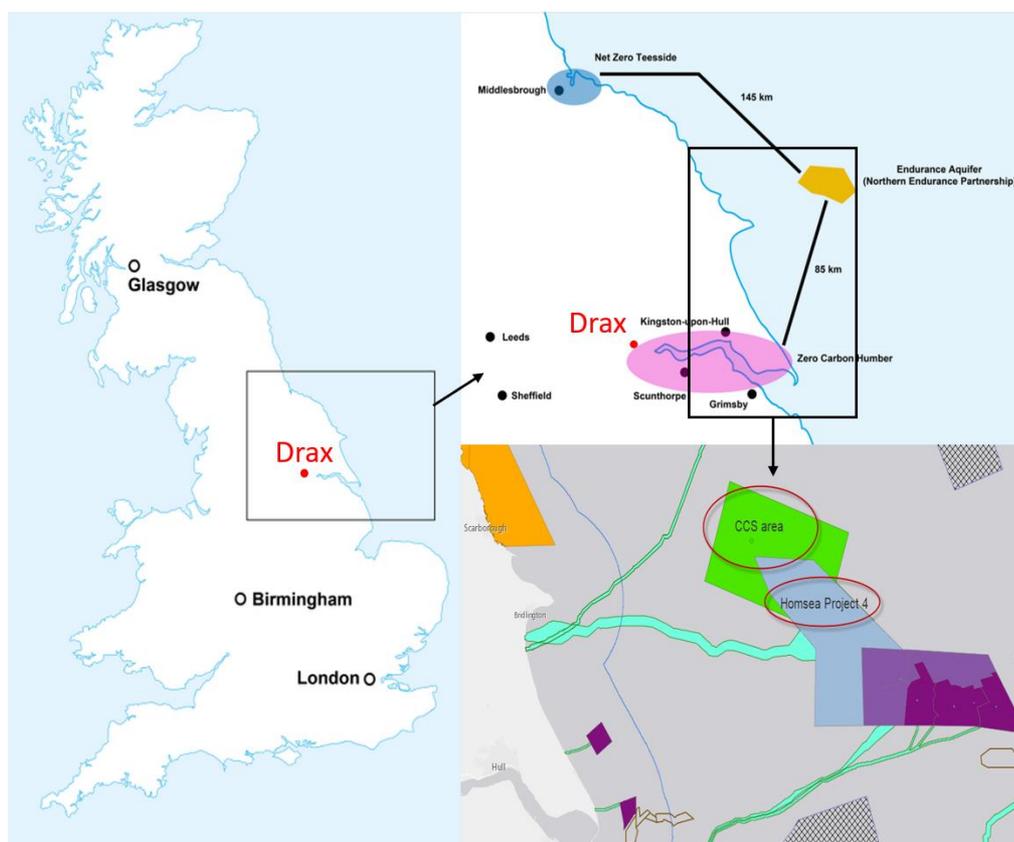


Figure 35 : Exemple de conflit de partage de surfaces marines entre de potentielles zones de stockage de carbone (Endurance Aquifer) et le projet de ferme éolienne Hornsea 4, sources : Emily Gosden, *The Times*, 2021 & PGM consulting 2022

¹²² Publication du gouvernement britannique sur les stockages de CO₂ en Mer du Nord : https://assets.publishing.service.gov.uk/media/629525a0d3bf7f036750aff5/NS051-SS-REP-000-00010-Storage_Development_Plan.pdf

Ces conflits d'usage pourraient se multiplier à l'avenir et réduiront d'autant les zones de stockage potentielles. Or ce partage des surfaces n'est pas encore pris en compte par les promoteurs tant de l'éolien que du stockage de carbone, qui établissent des estimations libérées de toutes les contraintes. Un autre consultant, spécialisé dans l'interface entre entreprises et administrations, nous révèle que les administrateurs se trouvent confus devant ces estimations débridées qui ne correspondent pas aux chiffres consolidés du développement des filières. En plus de créer des difficultés de compréhension avec les porteurs de projet et entre les administrations, il en résulte aussi une attitude de défiance vis-à-vis des chiffres promis par les promoteurs.

So if you look at the [carbon] cluster plans and you look at which projects that are currently being studied as the concept or in feed, the numbers don't quite match up and then they also observed that depending on which developers they talk to, you got people competing for the same projects and there's duplication of these gaps and some of the projects that people are looking to form sound as if that may not be quite real. They're a little bit suspect! [Consultant pour l'administration britannique, propos recueillis par Auclair, 2022]

L'enjeu d'acceptabilité sociale se situe selon l'échelle de Fournis et Fortin (2015) au niveau des arrangements institutionnels. L'approbation des administrations compétentes est une condition nécessaire, mais non suffisante à l'acceptation de la société. Or les trois administrations concernées dans notre cas éprouvent des difficultés tant du point de vue de la coordination entre elles que de la compréhension des besoins des projets en termes de surface marine. Les espaces de stockage souterrain pourraient s'en trouver réduits et avec moins de carbone stocké, l'intérêt de ces technologies s'affaiblirait. Ce type d'enjeu a trait aux principes de la technologie CCS et particulièrement à son rôle dans la décarbonation par rapport aux énergies éoliennes, mais également aux modalités pratiques de son déploiement avec de potentiels conflits d'usages plus typique des acceptabilités locales. Ainsi nous positionnons ce type de problématique dans les acceptabilités d'interpôles sur les arbitrages des administrations et les préférences des politiques publiques.

Conclusion : Des enjeux concentrés en amont et des questions sur la filière

Pour conclure brièvement cette seconde partie du terrain anglais, nous constatons que les enjeux d'acceptabilité sont multiples et couvrent toute la chaîne de valeur du BECCS et s'étendent sur l'ensemble de notre échelle de définition des acceptabilités depuis le pôle des principes jusqu'aux problématiques locales.

Autour du pôle des principes et en amont de la chaîne de valeur, la légitimité environnementale interroge. Le bilan climato-bénéfique de la production des émissions négatives repose sur l'assertion que la combustion de biomasse quelle qu'elle soit n'ajoute pas de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, elle est dite neutre en carbone. Or cette affirmation ne tient pas compte des conditions d'exploitations de la biomasse et des délais de renouvellement de celle-ci qui viennent décrédibiliser sa neutralité carbone. D'autre part, les impacts pour la biodiversité des forêts exploitées sont presque totalement ignorés dans les bilans officiels faisant peser un risque d'extinction pour de nombreuses espèces animales ou végétales.

Toujours en amont de la chaîne de valeur, mais sur l'acceptabilité locale, le développement extensif d'une exploitation de pellets de bois se heurte sur des questions éthiques et particulièrement sur des modalités de déploiement socialement injustes. Les communautés déjà défavorisées vivant à proximité des usines subissent les effets néfastes de la pollution atmosphérique sur leur santé. Alors qu'ils ne perçoivent aucun effet bénéfique direct de cette technologie. Sur l'acceptabilité d'interpôle, c'est la forme financière du soutien politique à la filière de bioénergie qui pose problème. La centrale de Drax est structurellement déficitaire et la conversion à la biomasse n'a pas amélioré sa rentabilité. La production d'énergie est donc directement dépendante des subventions nationales très importantes autour de £800 millions par an et qui représentent en moyenne 20 % du chiffre d'affaires de la société depuis au moins cinq ans. Sans crédibilité économique, l'attribution de ces subventions à Drax fait débat et des opposants souhaiteraient que l'argent des contribuables soit attribué à d'autres projets économiquement plus sains et écologiquement plus bénéfiques.

Sur l'acceptabilité interpôles et la technologie BECCS dans son ensemble, les décisions de soutien public sont suspectées de favoritisme voire de conflits d'intérêts à cause des nombreux liens socioprofessionnels entre la compagnie et les ministères britanniques. Le poids de Drax dans le mix énergétique national contraint les décideurs à conserver, malgré des problèmes évidents, la centrale sous perfusion économique.

Enfin en aval de la chaîne de valeur, un enjeu structurant de l'acceptabilité locale réside dans les standards de sécurité auxquels doivent répondre les infrastructures de transport de carbone par gazoduc. Sans ce cadrage du risque, les craintes de sécurité riveraine pourraient devenir un point bloquant du développement du CCS. Sur l'acceptabilité interpôle, les conflits d'usage entre les zones de stockage de carbone off-shore et les projets de ferme éolienne en mer compliquent les projections de développement du BECCS et surtout le travail d'arbitrage des administrations qui délivrent les autorisations et licences pour ce type d'exploitation.

Quatrième Chapitre

Le BECCS en Suède

Le prolongement de la foresterie ?

Introduction : Le BECCS en Suède a-t-il plus de chance de réussir qu'au Royaume-Uni ?

Un des principaux freins au développement du BECCS au Royaume-Uni est la nécessité, considérée comme absurde environnementalement parlant, d'importer la biomasse d'Amérique du Nord. La centrale de Drax à elle seule nécessiterait de couper l'intégralité des forêts britanniques pour sa production annuelle¹²³. D'autres pays européens sont néanmoins mieux lotis que l'Angleterre en termes de surface forestière. Le BECCS émergerait-il plus facilement dans ces pays ? C'est ce critère qui va nous servir de point de comparaison principal avec la Suède.

Ce pays du nord de l'Europe, couvert par plus de 23 millions d'hectares de forêts exploitables, soit presque 60 % de sa surface totale (Johansson et Ranius, 2019), serait un candidat idéal pour le déploiement du BECCS à échelle industrielle. En 2021, la production britannique de grumes (bois brut avec son écorce) s'élevait à presque 11 millions de m³ alors que celle de la Suède était 7 fois plus importante à 77 millions de m³¹²⁴. Autrement dit, si la Suède venait à utiliser toute sa production de bois pour le BECCS, elle pourrait alimenter sept usines comme celle de Drax, soit un potentiel de production d'émissions négatives de CO₂ de 46 millions de tonnes par an¹²⁵. Si elle était réelle, cette configuration permettrait à la Suède d'être le premier pays négatif en carbone puisqu'elle a émis en 2021 « seulement » 40 millions de tonnes de dioxyde de carbone (Tiseo, 2023).

Cette simulation bien que totalement virtuelle et improbable a le mérite de mettre en lumière les avantages matériels de la Suède dans l'exploitation de la biomasse par rapport au Royaume-Uni, étape aussi cruciale en amont de la capture du carbone que ne l'est le stockage géologique en aval de celle-ci.

De la même manière que dans le chapitre précédent, nous séparons cette enquête de terrain en Suède en deux parties. La première traitera du contexte autour du projet de BECCS à Stockholm et la seconde des débats autour de l'acceptabilité de la centrale KVV8. Cette installation que nous détaillerons plus loin est bien plus récente que la centrale anglaise. Une rétrospective historique serait alors moins pertinente pour décrire ce cas. Étant donné la subsidiarité des pouvoirs en Suède plus importante qu'en Angleterre, une distinction géographique ferait plus de sens. Ainsi notre enquête contextuelle sera découpée en deux étapes : la première analysera les déterminants

¹²³ "The future of Drax: old, inefficient, damaging and expensive"; Friends of the Earth Policy, 9 décembre 2021

¹²⁴ Statistiques sur la production de bois consultées sur le site de la Commission Européenne en 2023 :

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Wood_products_-_production_and_trade#Roundwood_production

¹²⁵ Rapport de Drax sur la sustainability de leurs opérations en 2023 : <https://www.drax.com/sustainability/carbon-emissions/>

nationaux tels que les configurations d'acteurs ou la matérialité propre à la Suède alors que la seconde s'occupera des éléments municipaux de la ville de Stockholm tels que le style politique de la Ville.

I. Le déséquilibre matériel et agentiel entre l'aval et l'amont de la chaîne de valeur

I.1. Une configuration d'acteurs nationaux pas prête pour le CCS

En aval de la chaîne de valeur, la Suède s'en sort moins bien que son voisin d'Europe du Nord. Le stockage on-shore n'étant plus envisagée dans l'UE depuis les échecs du CCS on-shore en Europe centrale au début des années 2010, la Suède n'a d'autre choix que de se tourner vers la mer (Anthonsen et al. 2013). L'office de recherches géologiques suédois a repéré trois espaces de stockages off-shore potentiels en 2011 dont le plus grand et le plus prometteur se situe en mer Baltique¹²⁶. Toutefois, ces informations sont encore très incertaines, car aucun forage n'a eu lieu dans cette zone pour confirmer la réceptivité de ces couches sédimentaires à l'injection de CO₂. En plus d'être incertaine, la Baltique est une zone marine sensible autant géopolitiquement qu'environnementalement. Le stockage de dioxyde de carbone pourrait créer des tensions diplomatiques compliquées, car neuf pays se partagent cette mer dont les frontières sont assez proches les unes des autres (Clerc, 2017). Les questions de transport et de régulations internationales seraient également prégnantes. Enfin, la Baltique est une des mers les plus polluées du monde autant par les pollutions agricoles qu'industrielles¹²⁷. Dans cette mer déjà soumise à un stress environnemental important, stocker du dioxyde de carbone, un gaz considéré comme un déchet, risque d'attiser les controverses. Pour cela, les acteurs suédois n'ont pas cherché à développer des stockages dans leurs eaux territoriales (Lefvert et al., 2022).

Mais la géographie de la Baltique n'est pas la seule raison en cause. Les limites des filières industrielles nationales sont aussi en jeu. À l'inverse des Britanniques, les Suédois n'ont pas d'entreprise nationale qui a les compétences et les moyens d'organiser le stockage du carbone. En effet, ce sont habituellement les compagnies pétrolières capables d'exploiter en offshore comme BP qui sont les acteurs principaux de ce type d'activité. La Suède n'a pas de telle société sur son sol et en développer prendrait plusieurs décennies. Or les obligations légales de réduction de gaz à effet de serre arrivant à échéance en 2045, les entreprises émettrices de CO₂ doivent compenser

¹²⁶ Erlström M, Sivhed U. Characterization of the Lower Cambrian sandstone aquifer in the Swedish Baltic Sea area assessment regarding its potential suitability for storage of CO₂. Geophysical Research Abstracts 2012; 14. EGU2012-2795, 2012. EGU General Assembly 2012.

¹²⁷ Rapport de EuroNews sur la pollution de la Baltique en 2021 : <https://fr.euronews.com/green/2021/09/28/au-secours-de-la-baltique-l-une-des-mers-les-plus-polluees-au-monde>

rapidement leurs émissions. Le gouvernement suédois ne voyant pas s'aligner les deux agendas, celui du développement d'une filière nationale du stockage de carbone avec celui de la décarbonation de l'industrie, a donc fait le choix d'externaliser le stockage. Comme nous le dit un responsable de l'agence suédoise de l'Énergie :

If Sweden should start on our own storage capacity is, this lies 20, 30 years away and inside we must also more or less build up a new industrial branch. I mean, we have no offshore companies in Sweden and we have no oil companies that are used to doing this kind of seismological surveys beneath the ocean. We need a lot of educated people in different areas and of course, it is a long process [that could take] 20, 30 years. [Yet] those that are planning to do CCS on fossil emissions like some in our industry, they will need to do it in a few years so they will need to go abroad. [Senior Advisor, Swedish Energy Agency, propos recueillis par Auclair, 2022]

Cette introduction dessine une différence importante sur les trajectoires de déploiement du BECCS entre l'Angleterre et la Suède, particulièrement sur les externalisations de la chaîne de valeur du CCS. Nous voyons déjà que la forme que prendra cette innovation dans ces deux pays dépend de certains aspects de leurs matérialités et de leurs configurations d'acteurs.

Bien qu'il n'y ait pas d'acteurs en mesure d'opérer le stockage du carbone, une autre configuration donne au déploiement du BECCS en Suède une trajectoire unique depuis la gestion des ressources en biomasse jusqu'aux aspects législatifs et énergétiques.

1.2. En amont du BECCS : une densité d'acteurs bien plus luxuriante

Sur le premier maillon de la chaîne, nous trouvons les forestiers qui approvisionneront les centrales BECCS en biomasse. L'industrie forestière est très développée en Suède où plus de 90 % des forêts exploitables produisent du bois majoritairement grâce aux méthodes d'exploitation des coupes rases et des éclaircies (Swedish Forest Agency 2014). Les espèces principalement exploitées sont le pin sylvestre (*Pinus Sylvestrus*) et l'épicéa commun (*Picea Abies*). Depuis les années 1990, l'introduction d'une taxe nationale sur l'usage des combustibles fossiles stimule la construction de nouvelles centrales à biomasse ou la conversion des centrales à charbon existantes. Cet essor de la bioénergie introduit à son tour la production d'une nouvelle espèce dédiée au bois de chauffe : le saule commun (*Salix Purpurea*) qui a l'avantage de présenter une bonne puissance calorifique et une vitesse de croissance rapide. Sa production se développe dans le voisinage des centrales de bioénergie (Mola-Yudego et Pelkonen, 2011).

Une des particularités de la foresterie suédoise est le morcellement des parcelles. Aucun propriétaire n'a de position majoritaire. Environ 50 % des surfaces sont détenues par des propriétaires privés non-industriels, 25 % par des firmes privées, 17 % par l'État suédois ou par des compagnies étatiques et les 8 % restants appartiennent à des institutions privées ou publics.

Une fois le bois coupé, les utilisateurs sont très nombreux en Suède et peuvent être séparés en trois grandes catégories selon la partie de l'arbre qu'ils achètent. D'abord, les scieries qui produisent le *bois d'œuvre*, c'est-à-dire les planches et les produits sciés nécessaires pour l'ameublement ou la construction. Ce sont les clients qui assurent le meilleur profit aux exploitants forestiers puisqu'ils consomment principalement le tronc de l'arbre, sa partie la plus valorisée. Viennent ensuite les clients du *bois de trituration*, c'est-à-dire les fabricants de papier ou de pâte à papier. Toutes ces pâtes de cellulose servent à la fabrication du carton, des couches de bébés, du papier hygiénique et de nombreux autres produits à base de cellulose. Ils achètent la partie entre le tronc et le feuillage, qui est considérée comme moins noble donc moins valorisée, car souvent marquée par les nœuds de branches lors de la croissance de l'arbre. Ces 2 types de clients consomment presque 90 % de l'ensemble de la production forestière suédoise. Les 10 % restants, qui représentent la partie la plus haute de l'arbre avec la frondaison et les branches, sont vendus comme *bois de chauffe* aux énergéticiens et fabricants de pellets (Kumar et al., 2021).

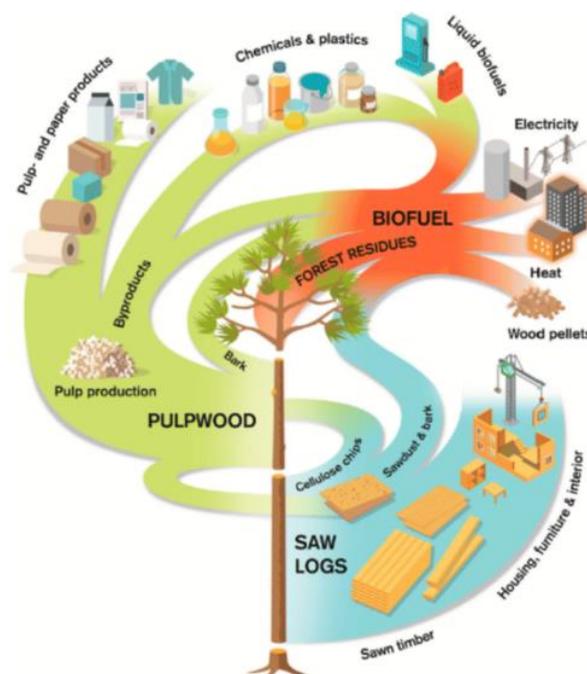


Figure 36: Forest biomass conversion (Kumar et al, 2021)

Cette répartition de la ressource sylvicole, bien connue par les acteurs du BECCS en Suède, est mise en évidence pour montrer le caractère non disruptif de la bioénergie dans la filière forestière, déjà bien organisée et génératrice de nombreux emplois. Comme les usages primaires du bois pour

l'énergie sont minimales (environ 10 %), le développement du BECCS peut ainsi s'inscrire dans une vision écologique et durable de l'exploitation des forêts suédoises.

[The wood] goes to different saw mill products and then it goes to the pulp and paper. It's almost 40, 50% each. But then you have the small, small by-product that goes to incineration and CHP plants. We produce electricity and also district heating here but that is a really, really small part. So most of the forest goes to the furniture and saw product and different housing but then the other part goes to a pulp and paper. That's really important for people to know because there is a lot of legislation that is going on in the EU and not so many people know about Sweden and Finland and the forestry here and how we work and that it's really sustainable. [Directeur association industrielle pro-BECCS, propos recueillis par Auclair, 2022]

Mais cette affirmation minimise le potentiel énergétique de la biomasse en négligeant la deuxième partie de la transformation du bois. En effet, après la première transformation, les sous-produits du bois d'œuvre (copeaux, sciure et poussière de scierie) vont alimenter l'industrie du papier et de la bioénergie. De telle manière qu'à la fin du processus de transformation, près de la moitié de la biomasse récoltée servira à produire de l'énergie répartie également entre le chauffage des maisons et le séchage des pâtes à papier. Au global, le bois d'œuvre représente alors la plus petite part de la production forestière transformée avec 20 % du volume, la pâte à papier en prend 36 % et l'énergie nécessite le reste soit 44 % (Sandberg et al., 2014).

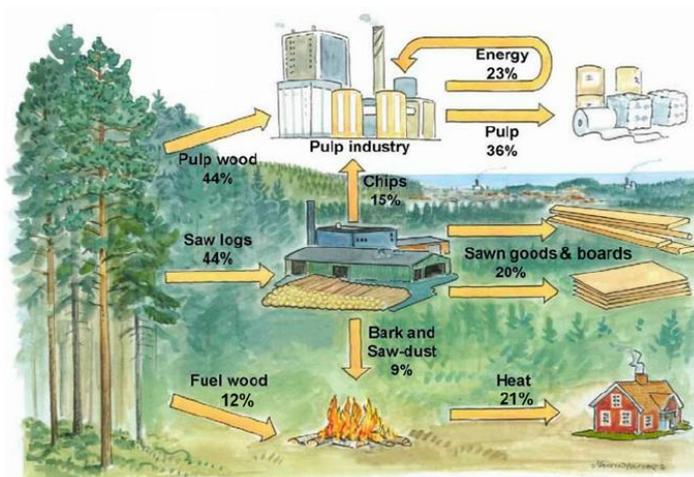


Figure 37 :The distribution of roundwood to various industrial lines and the proportion of products after the refinement stage. (Sandberg et al., 2014)

Avec ces statistiques, nous remarquons l'intérêt capital que l'utilisation de la bioénergie générée par l'industrie de la papeterie pourrait avoir dans le déploiement du BECCS. Bien que ce potentiel de capture du CO₂ ait été identifié depuis plusieurs décennies (Möllersten et al., 2003), l'industrie papetière suédoise peine à franchir le pas pour plusieurs raisons.

La Suède est le deuxième plus grand exportateur de pâte à papier derrière la Finlande, avec presque 8 % de la valeur totale de ses exportations. Le secteur emploie directement et indirectement plus de 120 000 personnes. Avec la baisse continue des volumes de ventes depuis les années 2000, liée à la baisse mondiale de l'usage du papier de lecture (journaux, revues, livres) au profit d'une numérisation croissante, les investissements dans le CCS dont la rentabilité n'est pas encore prouvée ont été jugés non-prioritaires (Karlton et al., 2012).

De plus, le procédé de captage du carbone très énergivore nécessiterait un apport supplémentaire d'énergie dans une industrie déjà fortement influencée par les prix de l'énergie. Un approvisionnement complémentaire en biomasse pour satisfaire ce nouveau besoin entrerait directement en compétition avec les besoins des centrales de réseau de chaleur. Ce conflit d'usage entre les acteurs interviendrait surtout dans les zones densément peuplées du sud de la Suède où se trouvent à la fois les réseaux de chaleur et la majorité des papeteries. La production locale ne serait pas suffisante pour faire fonctionner correctement le captage du carbone pour les 2 industries, obligeant à un captage partiel des émissions ou à une importation de biomasses étrangères (Karlsson et al., 2021).

Pour ces raisons, l'introduction du BECCS sera facilitée sur les centrales de bioénergie, c'est pourquoi parmi les 3 entreprises actuellement soutenues par le gouvernement suédois pour développer le BECCS se trouvent 2 énergéticiens, Stockholm Exergi et Vattenfall, et un papetier, Stora Enso¹²⁸. Pour simplifier notre analyse, nous nous focaliserons sur les acteurs de l'énergie.

¹²⁸ SEA, Swedish Energy Agency, Industrial leap fund [Industriklivet]., 2021. (Accessed 26 November 2021).

II. L'environnement techno-politique suédois aussi en faveur de l'amont

II.1. Les réseaux de chaleur dans le mix énergétique

Les centrales de bioénergie sont souvent associées à des réseaux de chaleur très répandus en Suède où presque chaque ville en est équipée (Werner, 2017). C'est autre différence de matérialité avec le Royaume-Uni, qui ne dispose pas de telles infrastructures et où le développement du BECCS se focalise principalement en association avec la production d'électricité.

La part importante de la biomasse locale dans la production d'électricité et surtout de chaleur couplée à la présence étendue de réseaux de chaleur urbains font du paysage technologique suédois une scène favorable au déploiement du BECCS. Mais dans les coulisses, ce cadre est le résultat collatéral d'une succession de politiques et de décisions publiques dont les objectifs étaient tout autre. Aujourd'hui, l'émergence du BECCS est une opportunité pour l'évolution du mix énergétique suédois autant que le résultat de l'évolution de ce dernier est une opportunité pour l'émergence de ce premier.

Il serait toutefois réducteur de considérer le paysage technologique seulement du point de vue de l'ingénierie avec des tuyaux de transport de la chaleur, des consommateurs et des centrales à leurs extrémités. Sur cette structure visible se juxtapose une structure sociale invisible tissée d'un ensemble de lois, d'habitudes, de formations et de relations entre acteurs qui participe autant sinon plus à la dépendance au sentier que la matérialité du mix. Pour voir les dessous de ce système sociotechnique, ce « tissu sans couture » (Hugues, 1987), nous allons découdre les 3 étapes historiques qui préparèrent un mix énergétique propice au BECCS.

II.2. 1970 - Le développement des réseaux de chaleur

Contrairement au Royaume-Uni, la Suède n'a pas de ressources fossiles sur son territoire. Après la Seconde Guerre Mondiale, elle s'est alors posée la question de son indépendance énergétique. Pour réduire sa dépendance aux importations de pétrole et de gaz dans la production de chaleur et d'électricité, le gouvernement suédois lance respectivement dans les années 1950 un programme de promotion des réseaux de chaleur par les municipalités et un plan national de construction de centrales nucléaires et hydroélectriques (Meyer, 2017).

Le premier réseau de chaleur urbain (RCU) est inauguré à Karlstad, à l'ouest de la Suède, en 1948 quand une centrale électrique thermique est transformée en centrale CHP (Combined Heat & Power). L'idée était de récupérer la chaleur fatale, qui est perdue autrement, pour fournir une

manufacture voisine. Dans les années 1950, une dizaine de grandes villes s'équipent de ce système et aujourd'hui, plus de 500 réseaux de chaleur urbains sont recensés dans le pays (Kaiserfeld, 1999). La logique qui sous-tend le développement des réseaux de chaleur est donc d'optimiser l'efficacité et l'usage des ressources énergétiques locales.

L'expansion des RCU a aussi été stimulée par l'introduction d'une taxe sur les carburants de chauffage dans les années 1950. Cette taxe, initialement conçue pour augmenter les recettes fiscales de l'État, a également joué un rôle dans la diminution des importations d'hydrocarbures (Holmberg, 2021). En prélevant directement un pourcentage sur le KWh primaire consommé, l'État suédois a encouragé ces citoyens et entrepreneurs à éviter le gaspillage et donc à optimiser chaque unité d'énergie. Ainsi l'efficacité énergétique, véritable obsession des ingénieurs, n'était pas la seule motivation pour développer les RCU, l'évitement fiscal que l'on peut qualifier de motivation juridico-politique a joué un rôle déterminant. Même si la taxe et l'innovation ont bien réduit les quantités de combustible consommées, elles n'ont pas vraiment impacté le type de carburant utilisé. Jusqu'aux années 1970, les seuls carburants brûlés dans les centrales en amont des réseaux étaient à base de pétrole. Le choc pétrolier mondial de 1973 va introduire la biomasse dans le mix énergétique tout en accélérant l'adoption des réseaux de chaleur (Werner, 2017).

À cette époque, il n'y avait pas de stratégie énergétique déterminée et le style politique suédois, largement décentralisé, a laissé une grande liberté aux municipalités. La seule contrainte nationale était d'ordre fiscal sur les importations d'hydrocarbures. Une autre source d'énergie que la biomasse ou un autre type de production de chaleur aurait pu émerger. Comme en France par exemple, où l'énergie nucléaire a fait concurrence aux centrales thermiques des réseaux de chaleur. Cependant, après un bon départ dans les années 1970, l'électro-nucléarisation du pays est stoppée nette en 1981 après le vote, suite à un référendum, d'un moratoire prévoyant l'arrêt complet des centrales en 2010 (Meyer, 2017). Ce revirement de situation fait suite au retentissement médiatique de l'accident de la centrale de Three Mile Island aux États-Unis en 1979.

Sans une part importante de production nucléaire, le chauffage électrique devient moins intéressant pour les Suédois. De plus, la production d'hydroélectricité encore en développement suffisait difficilement à satisfaire à la fois les besoins en électricité et en chauffage du Royaume. Les pompes à chaleur encore peu compétitives à l'époque ne parviennent pas à concurrencer les réseaux de chaleur jugés plus efficaces et plus rentables (Johansson, 2017). Les alternatives étant alors virtuellement inexistantes les compagnies privées réussirent à convaincre les municipalités de réaliser les investissements dans les RCU par diverses stratégies, soit en apportant une part conséquente des capitaux en échange d'un monopole local sur le chauffage urbain ou en créant des *joint-ventures*, des sociétés-filles dédiées exclusivement au chauffage urbain en faisant des villes

les actionnaires de ces sociétés ou en combinant à des degrés divers ces deux possibilités (Hard et Summerton, 1994). La ville de Stockholm a mixé les stratégies en devenant actionnaire à hauteur de 50 % de Stockholm Exergi, le reste de la société appartenant à Fortum Värme la branche chaleur de l'énergéticien finlandais Fortum, et en lui accordant un quasi-monopole sur le chauffage de la capitale.

Ainsi la quête de l'indépendance énergétique, l'introduction d'une taxe nationale sur les carburants de chauffage, la liberté accordée aux municipalités de choisir les modalités de leur chauffage ainsi que les actualités des années 1970 avec la crise du pétrole et l'accident nucléaire américain ont concouru collectivement à la montée en puissance des réseaux de chaleur en Suède. Le rôle des facteurs socio-politiques à la fois endogènes et exogènes sont donc clairement mis en lumière dans la construction de cette première marche vers le BECCS. À cette époque les centrales sont encore alimentées très majoritairement par des combustibles fossiles. Il faudra attendre le début des années 1990 pour voir un changement de tendance.

II.3. 1991 - L'introduction d'une taxe nationale sur le carbone

En 1991, le gouvernement suédois introduit une taxe nationale directement sur les émissions de gaz à effet de serre pour le chauffage, l'industrie, les transports et l'agriculture. D'un montant évolutif, elle fut fixée à EUR 27 par tonnes de CO₂ à ses débuts pour arriver à EUR 123 par tonnes en 2023. Parmi les nombreux impacts de cette mesure comme diminuer les émissions du transport routier de plus de 10 %, le carburant pour la chaleur a entamé une profonde transformation. Certains secteurs ont d'abord été exemptés, notamment ceux impliquant de nombreux emplois comme les manufactures, les cimenteries et les papeteries, mais ce ne fut pas le cas de la production de chaleur qui s'est profondément transformée. Pour échapper à l'augmentation du prix de la combustion du pétrole, les énergéticiens convertissent en masse leurs centrales à la biomasse et en construisent de nouvelles avec ce même carburant. Entre 1991 et 1996, la part de la biomasse comme énergie primaire des RCU augmente de presque 300 % alors que celui des énergies fossiles (charbon et pétrole) diminue de plus de 50 % (étape n°2 sur la figure 40).

Entre 1990 et 1991, la Suède entreprend une réforme complète de son organisation fiscale à la recherche de nouvelles ressources pour soutenir son modèle d'Etat-Providence tout en redynamisant son industrie (Hildingsson et Asa, 2022). Les racines de ce nouvel instrument d'action publique remontent à la fois dans des facteurs endogènes tels que les représentations collectives et le style politique du Royaume et des facteurs exogènes comme des directives supranationales et une mobilisation internationale dans la lutte contre le réchauffement climatique. Les taxes sur le travail et l'énergie sont réduites et de nouvelles taxes sur l'émission des polluants aériens sont créées.

Suivant les directives européennes des années 1980 sur la qualité de l'air (Kuklinska et al., 2015), les émissions d'oxyde de soufre (SOx) et d'azote (NOx) et de dioxyde de carbone sont désormais l'objet d'une taxe visant à limiter leurs rejets.

De plus, la Suède fait preuve depuis plusieurs années d'un volontarisme affirmé dans la lutte contre le réchauffement climatique. En 1972, Stockholm accueille la première conférence mondiale des Nations Unies sur l'environnement. La Déclaration issue de ces conférences place les questions écologiques au rang des préoccupations internationales et marque le début d'un dialogue entre pays industrialisés et pays en développement concernant le lien entre la croissance économique et les émissions de gaz à effet de serre. Depuis, la Suède n'a cessé d'œuvrer en parangon de l'écologie (Matti, 2009). Le ministre de la Nature et de la protection de l'environnement français de l'époque, Robert Poujade dira même de la Suède qu'« elle le meilleur exemple dans tous les domaines de l'environnement » (Poujade, 2012). Le gouvernement suédois sera un des premiers au monde à se fixer des objectifs de réduction des gaz à effet de serre en 1988.

Cette recherche d'exemplarité peut puiser ses racines dans un passé impérial glorifié. Au XVII^e siècle, le Royaume de Suède s'empare à la suite de plusieurs guerres de la Finlande, de la Carélie et de l'Ingrie, des provinces aujourd'hui russes, et baltes. Transformant ainsi la mer Baltique en mer intérieure, l'empire suédois réalise le rêve de ses dirigeants d'établir le *dominium maris baltici* (« la souveraineté sur la mer Baltique ») (North, 2012). Cette situation dominante est d'une certaine manière restée gravée dans l'imaginaire politique, car « l'ombre de l'empire suédois plane sur ce pays à la recherche d'un rôle digne de son passé » (Blanc-Noël, 2003). Les enjeux énergétiques et environnementaux actuels donnent ainsi l'opportunité à la Suède de retrouver une place dans le concert des nations et particulièrement dans la région de la Baltique.

Ainsi la taxe des années 1950 sur l'énergie évolue pour devenir un instrument d'action publique destiné autant à réduire la consommation d'énergie fossile qu'à réaliser la transition des hydrocarbures vers des sources renouvelables et locales pour s'exposer en champion de la lutte contre le réchauffement climatique. De plus, cette nouvelle taxe carbone a été acceptée facilement par les contribuables parce qu'elle venait en remplacement d'une taxe déjà existante. Son arrivée a presque été invisible (Scharin et Wallström, 2018). Les industriels l'ont bien reçu parce que certaines alternatives étaient déjà en place comme l'hydroélectricité ou d'autres étaient subventionnées comme la conversion à la biomasse des centrales de chaleur (Andersson, 2019).

Marquant ainsi la deuxième marche de la construction d'un environnement favorable au BECCS, l'introduction de cette taxe est due à des facteurs endogènes tels que l'existence d'une taxe originale sur l'énergie plus facilement convertissable, la volonté nationale d'exemplarité écologique et la

disponibilité d'alternatives nationales aux énergies fossiles et des facteurs exogènes tels que des réglementations supranationales ou un engagement international.

Cette taxe suédoise sur l'énergie qui évolue vers une taxe carbone est le seul exemple d'un instrument coercitif qui mélange les types législatif et économique qui a joué un rôle dans le développement du BECCS même indirectement. Avec l'introduction de cette taxe, l'État adopte une position de tuteur du social dans le sens où il contraint ses citoyens à réduire leur consommation d'énergie. La légitimité de cette mesure vient de la recherche de l'intérêt général pour la nation qui est alors de réduire la dépendance totale aux importations d'hydrocarbures. C'est le souhait de retrouver une souveraineté énergétique qui permet l'adoption de la taxe.

Avec sa transformation en taxe carbone, l'État sélectionne les « bonnes » et les « mauvaises » énergies. Alors que la précédente taxe ciblait l'énergie dans son ensemble, désormais seules les « mauvaises », c'est-à-dire celles qui sont à base d'hydrocarbures émettant beaucoup de dioxyde de carbone et qui sont intégralement exportées, sont soumises à la taxation. À l'opposé, les « bonnes » énergies, celles qui sont principalement produites localement et dégagent moins de CO₂ comme l'hydroélectricité ou la biomasse, en sont exemptées. Dans cette configuration, l'État prend en plus une fonction de redistributeur puisqu'une partie des revenus de cette taxe servent à financer la R&D pour le développer d'énergie renouvelable et locale. L'IAP confirme donc sa légitimité en s'adjoignant à la quête de la souveraineté énergétique la recherche d'une utilité collective.

Cette taxe sur le carbone a comme résultat évident de diminuer la part des énergies fossiles dans le mix suédois, mais pas nécessairement de stimuler l'usage de la biomasse. Celle-ci est une des alternatives possibles, mais elle n'est pas plus favorisée qu'une autre source décarbonée. Ainsi dix ans après l'introduction de la taxe carbone, la biomasse atteint une sorte de plateau en étant le combustible primaire d'environ 40 % des RCU. Une nouvelle mesure politique va venir encore doubler cette part et donner un énorme potentiel de conversion au BECCS sur toute cette production de chaleur.

II.4. 2003 - L'arrivée des certificats d'électricité renouvelable

Jusqu'en 2003, une part non-négligeable de centrales des réseaux de chaleur fonctionnaient encore avec d'autres combustibles que la biomasse. L'arrivée des certificats d'électricité renouvelables (REC pour Renewables, Electricity Certificate en anglais) va accélérer la conversion des centrales CHP, produisant à la fois de l'électricité pour le réseau et de la chaleur pour les RCU.

Les centrales CHP ont été construites principalement pour alimenter les réseaux de chaleur et par conséquent ont connu un essor considérable pendant la première phase de construction du mix

énergétique. Il en résulte que leur taux de pénétration du marché suédois est un des plus larges d'Europe avec une part de marché de plus de 30 % pour la production de chaleur¹²⁹, ce qui représente environ 200 centrales sur tout le territoire¹³⁰. Seules les CHP de la Finlande et du Danemark atteignent ce taux. Cette omniprésence des centrales CHP va créer des conditions très particulières en Suède pour l'application des RECs.

En 2001, l'Union européenne encourage à travers la DIRECTIVE 2001/77/C tous ses États membres à se doter d'un mécanisme de promotion de l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. L'objectif fixé, indiqué en introduction, est de « faciliter les échanges d'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables et (...) accroître la transparence pour le choix du consommateur entre l'électricité produite à partir de sources d'énergie non renouvelables et l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables ». Non contraignante, la directive laisse une certaine souplesse aux pays sur les modalités à employer pour atteindre l'objectif. La Suède comme le Royaume-Uni et les Pays-Bas choisissent d'adopter un mécanisme de marché d'échange de certificats verts alors que l'Allemagne et l'Espagne lui préféreront des mécanismes de régulation tels que des subventionnements (Unger et Ahlgren, 2005).

Critiquée pour le choix de cet instrument, car il ne favorisait pas suffisamment l'énergie éolienne, la Suède a réussi à créer un effet d'aubaine pour la conversion à la bioénergie de ses centrales CHP. Pour comprendre cet effet sur la biomasse, il faut s'intéresser au principe qui régit ce type de marché. Une fois l'électricité injectée dans le réseau, il n'est plus possible de distinguer la source qui l'a produite et donc de savoir si elle était décarbonée ou non. Les RECs permettent justement de tracer virtuellement la source de l'électricité. Concrètement, lorsqu'un exploitant produit un mégawattheure (MWh) d'électricité à partir de l'éolien, du photovoltaïque ou encore d'une centrale à biomasse et la vend aux distributeurs d'électricité, un organisme indépendant agréé (STATNETT en Suède) lui délivre un certificat REC (numéroté et enregistré) de 1 MWh. L'exploitant vendra ensuite ce certificat aux distributeurs ou à une société spécialisée qui le vendra à son tour aux consommateurs qui souhaitent avoir une garantie de l'origine renouvelable de leur électricité. L'intérêt de ces certificats est donc de générer une source de revenus supplémentaires pour les exploitants d'énergies renouvelables tout en garantissant aux consommateurs une fraction plus ou moins importante d'électricité verte.

¹²⁹ European Commission. Joint Research Centre. *Case Study on the Impact of Cogeneration and Thermal Storage on the Flexibility of the Power System*. LU: Publications Office, 2018.

¹³⁰ Tidningen Bioenergi's annual analysis, 2017

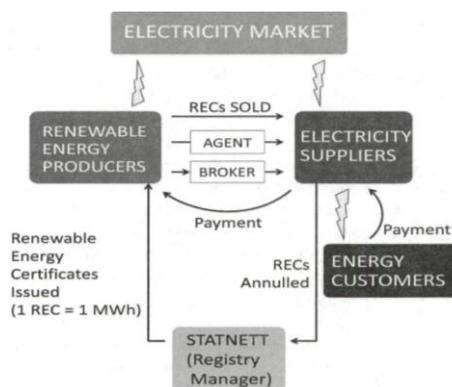


Figure 38 : Fonctionnement du marché des certificats d'électricité renouvelable (REC), (Geoffrey Tudor, 2012)

Ce type de marché favorise donc mécaniquement les technologies qui produisent le plus de MWh au moindre coût. Même si officiellement aucune technologie ne devait être favorisée, l'énergie éolienne dont le potentiel de développement est important en Europe du Nord était la cible principale de cette mesure (Ganhammar, 2021). Toutefois, elle a initialement plus profité aux centrales CHP déjà construites pour lesquelles la cogénération de chaleur compense fortement les coûts de production de l'électricité et l'abondance de biomasse rend ce type de combustible plus abordable qu'ailleurs. Forts de cette nouvelle source de revenus, les distributeurs de chaleur ont alors massivement converti leurs centrales. Entre 2003 et 2010, la part de biomasse dans les RCU a doublé pour atteindre presque 70 % de la production totale de chaleur (étape 3 sur la figure 40). Ainsi jusqu'en 2012 plus des ¾ des certificats sont issus du secteur de la bioénergie, soit près de 90 millions de certificats ou 90 millions de MWh produits. En 2012, la Norvège rejoint le marché suédois des RECs avec ses spécificités technologiques propres et des mécanismes politiques de soutien différents de ceux de la Suède favorisant plus particulièrement l'éolien. Ce basculement dans le type de source des certificats démontre encore la place spéciale de la bioénergie en Suède, qui s'appuie sur un système sociotechnique unique à ce pays.

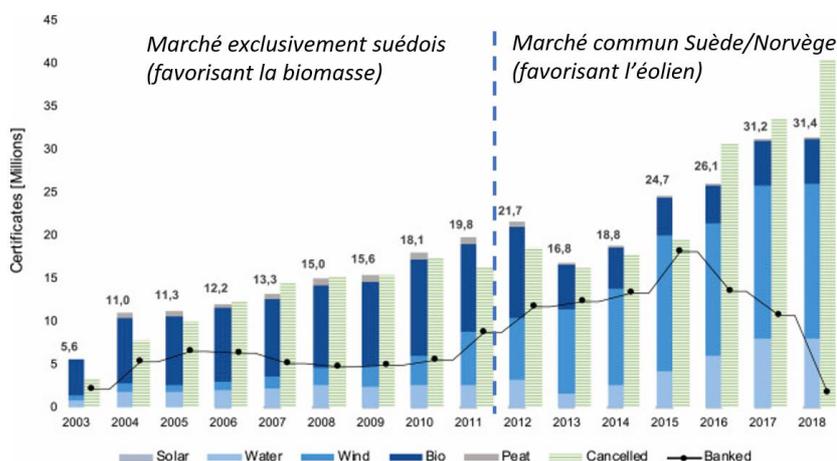


Figure 39 : Technologie qui produit les certificats (en millions/an) en Suède, puis à partir de 2012 en Norvège (Ganhammar, 2021)

Le secteur de la production de chaleur pour les réseaux urbains en Suède, tel qu'il existe aujourd'hui, largement étendu et majoritairement converti à la bioénergie, est le résultat historique d'un croisement de plusieurs facteurs endogènes et exogènes, de nature à la fois politique, technologique, économique, sociaux et géographique. Il s'agit donc réellement d'un système sociotechnique, dans lequel il n'est plus possible de distinguer l'infrastructure matérielle de l'infrastructure sociale, politique, légale et cognitive qui s'y superpose. La construction de ce système peut toutefois être décrite à travers les trois étapes expliquées plus haut. D'abord, l'essor des réseaux de chaleur urbain pour éviter la taxe sur l'énergie et réduire les importations d'hydrocarbures. Ensuite, la première vague de conversion à la biomasse avec l'introduction de la taxe carbone pour montrer l'exemple dans la lutte contre le réchauffement climatique et briller dans le concert des nations. Enfin, la seconde vague de conversion avec la mise en place du marché des certificats d'électricité renouvelable qui a largement bénéficié aux centrales à biomasse grâce à leur étendue, au retour d'expérience des conversions de la première vague et de la disponibilité d'une biomasse locale abordable et suffisante (Ericsson et Werner, 2016). À la fin de ce demi-siècle d'évolution, les centrales CHP à biomasse dominant largement l'industrie des réseaux de chaleur, qui lui-même satisfait plus des deux tiers des besoins de chauffage en Suède.

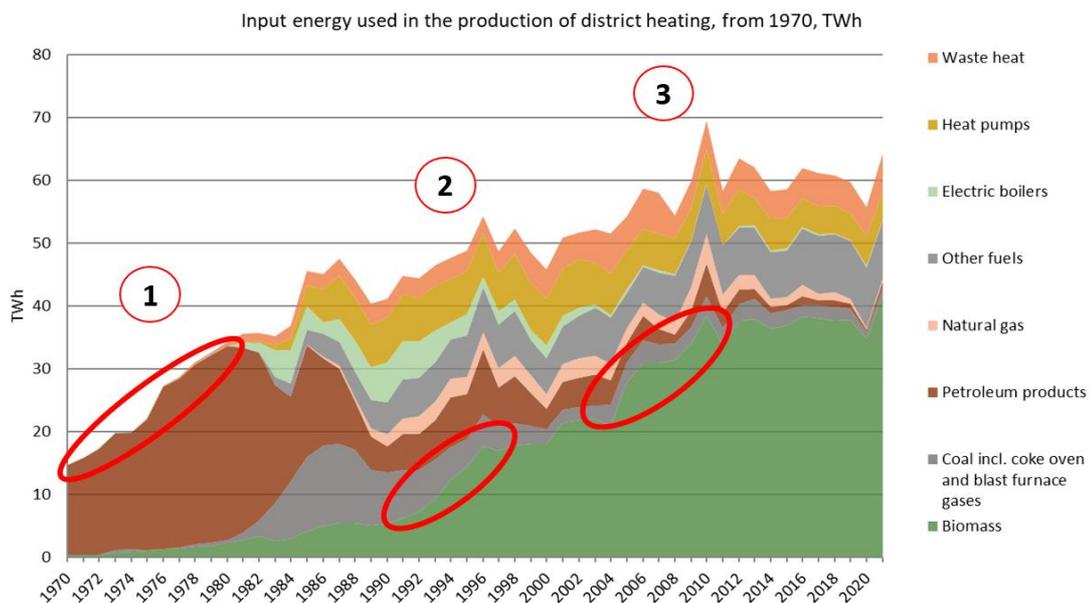


Figure 40 : Évolution des sources d'énergies dans les réseaux de chaleur urbains (Anna Krook-Riekola, 2022)

II.5. Au-delà des réseaux de chaleur, les mêmes changements

Le reste du mix énergétique suédois a évolué d'une manière semblable à celui des réseaux de chaleur. Les représentations collectives d'indépendance et d'exemplarité y ont joué un rôle primordial. Les programmes lancés après la Seconde Guerre mondiale commencent à porter leur fruit au milieu des années 1970. La part de consommation du pétrole diminue sensiblement pour être remplacée par l'énergie nucléaire et hydroélectrique.

La production nucléaire suédoise, composée de dix réacteurs répartis sur trois sites, est restée presque constante en volume depuis 1985 (Meyer, 2017), année qui marque l'arrêt des constructions. Elle représente aujourd'hui environ 25 % du mix énergétique suédois. Toutefois, avec l'essor des discours anti-nucléaires suédois, il a fallu trouver une source de remplacement en mesure de garantir l'indépendance énergétique. Le recours à la bioénergie, en plus d'être favorable dans la lutte contre le réchauffement climatique, a pu porter la double ambition d'éviter les importations de carburants fossiles et de sortir du nucléaire (Björheden, 2006). Les politiques publiques en faveur d'un usage plus intense de la biomasse ont été soutenues par les municipalités, qui y ont vu autant un moyen d'alléger leur facture que de verdir leur consommation. Les acteurs de la foresterie et de la papeterie, 2 poids lourds de l'économie suédoise ont aussi pesé dans cette direction, espérant développer de nouveaux marchés (Ericsson et Werner, 2016).

Ainsi tous les programmes de recherches, les incitations fiscales et les subventions pour le marché de la biomasse bénéficièrent d'un soutien politique concret et constant (Andersson et Keizer, 2014). Il en résulte une augmentation de presque 200 % de la production de bioénergie depuis les années 1980, arrivant aujourd'hui à faire part égale avec le nucléaire en représentant plus de 25 % du mix énergétique suédois, principalement utilisé dans les réseaux de chaleur.

Le reste se compose de l'hydroélectricité dont la part est approximativement constante depuis les années 1960, quand la dernière et plus puissante centrale fut construite. Ensuite, le développement s'est ralenti à cause des contraintes environnementales et d'un tarissement des lieux potentiels de barrages. Le pétrole à hauteur de 20 % du mix est encore utilisé dans les transports ou c'est presque à son usage exclusif.

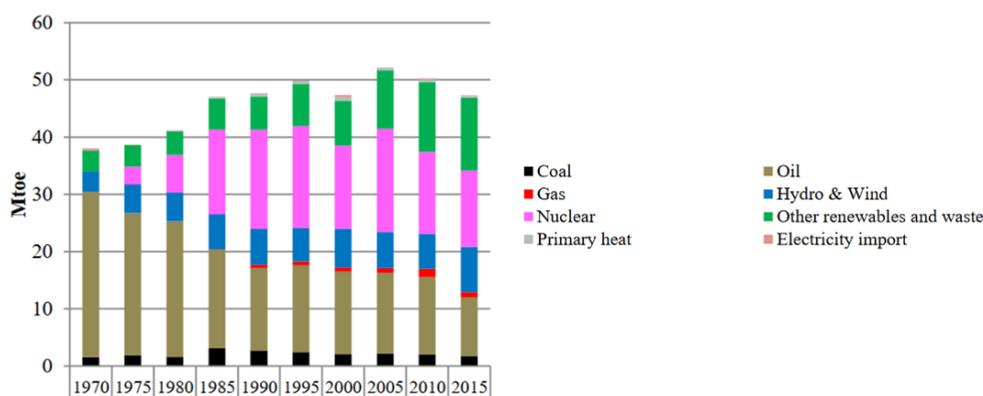


Figure 41: Évolution du mix énergétique suédois depuis 1970 tous usages confondus (transport, électricité, chaleur) [Millot et al, 2022]

L'évolution de ce mix résulte donc de politiques publiques coercitives sur l'importation des hydrocarbures (taxes) et incitatives sur l'usage de la biomasse (financements et réductions fiscales). C'est une suite de décisions dont la cohérence finale n'était pas nécessairement de réaliser une transition écologique, mais qui visaient d'abord à promouvoir l'indépendance énergétique, réduire les importations de carburants fossiles tout en conservant une certaine compétitivité économique. C'est surtout la constance d'un système politique dans l'application de ces décisions qui a donné des résultats significatifs dans une stratégie de décarbonation nationale (Millot et al., 2020).

II.6. *Le style politique suédois et la gestion des innovations*

Le style politique de la Suède est marqué par cette grande stabilité depuis que son régime politique est devenu véritablement parlementaire et démocratique, c'est-à-dire à partir de 1917. Depuis cette date, le système politique suédois peut être décrit de *pentapartisme*, ce sont toujours les mêmes cinq partis politiques qui se partagent le *Riksdag* : le parti social-démocrate, le parti communiste, les conservateurs, les libéraux et le Parti du centre. Ajoutons encore que parmi ces cinq forces politiques, celle qui a le plus d'influence est le parti social-démocrate qui domine de manière presque hégémonique la vie politique, marquant ainsi profondément la société suédoise par l'idéologie sociale-démocrate.

Ainsi la Suède est réputée pour l'interventionnisme fort de son gouvernement dans les affaires économiques afin de garantir une importante redistribution des richesses. Des durs conflits sociaux du début du XX^e siècle, la Suède a également hérité de nombreuses réformes qui ont engendré des institutions solides de dialogue et de débats entre les milieux d'affaires et les syndicats de salariés. Ces organisations nommées « néo-corporatisme » ont permis de promouvoir une culture du consensus entre les différents cercles économiques (Vidal, 2010).

Ce style non-confrontationnel dans la gestion des affaires politiques et économiques est caractéristique de l'organisation suédoise (Sörbom et Jämte, 2014) qui est issu du tissu industriel national. Dans la majorité des industries suédoises, les moyens de production sont bien distribués entre de nombreux opérateurs de telle manière qu'aucun d'entre eux ne soit en mesure d'exercer une quelconque position hégémonique. N'ayant pas d'interlocuteur unique pour une industrie, le gouvernement peinerait à contrôler directement l'ensemble de la chaîne de production et use, par conséquent, rarement d'instruments d'action publique coercitifs. Dans le cas de l'implémentation d'une mesure concernant la foresterie, par exemple, l'État préférera faire appel à des instruments d'éducation, d'information ou de conseils.

Ce fut le cas avec la loi forestière de 1994 qui a introduit des changements majeurs dans la gestion des forêts suédoises. Bien que les résultats attendus, renforcer la conservation de la biodiversité et améliorer les rendements de production étaient explicitement énoncés, les moyens pour les mettre en œuvre sont décrits au minimum afin de s'adapter à tous les profils d'exploitation. Laissant une grande marge de manœuvre aux forestiers, cette loi à l'image de la politique suédoise affirme l'importance de la responsabilité des acteurs (Lindahl et al., 2017). Aujourd'hui encore, la foresterie et d'autres entreprises sont gérées par un mix de politiques publiques insistant davantage sur les objectifs à travers des instruments volontaires, non-coercitifs et incitatifs tels que des certifications de marché, des informations publiques ou des conseils (Johansson et Ranius, 2019).

La configuration morcelée de la structure de propriété des industries donne souvent le rôle de bureau des négociations au pouvoir exécutif suédois. La prise de décision collective entre les différents acteurs au sein d'un même secteur économique, qui peut aussi être nommée « une corporation », est la règle d'action du gouvernement dans cette logique « néo-corporatiste » (Hall et Löfgren, 2017). De plus, l'issue de la décision « corporatiste » a la priorité sur les autres facteurs extérieurs au secteur concerné comme le confirme un ancien analyste du ministère de l'Industrie :

This is the classical corporatist challenge. The Industry has been enticed into participation under the premises that this was going to become a co-decided and integrative process [...] The internal affairs of [Swedish] Cabinet Government are based on a logic of arbitration, and this logic takes precedence over all agreements with external partners. [Former senior analyst at the Ministry for Enterprise, propos recueillis par Patrik Hall, 2017]

En conséquence, la fragmentation de l'industrie se retrouve dans la structure du gouvernement dans laquelle les ministères se répartissent la gestion des différentes corporations sans qu'aucun ne prenne véritablement le leadership sur l'ensemble des industries. Cette situation s'avère profitable pour promouvoir l'innovation. Comme les décideurs politiques nationaux n'agissent pas, de concert, pour prescrire des programmes d'innovation à l'échelle du pays, la gestion de l'innovation est dévolue à des niveaux décisionnels inférieurs à travers des programmes locaux très concrets (Hall et Löfgren, 2017).

Néanmoins, suivant les principes de l'innovation schumpétérienne selon laquelle le progrès économique pouvait être stimulé par une collaboration étroite entre les entreprises et les universités, le gouvernement social-démocrate suédois a établi dans les années 1970, avec l'aide de l'Académie Royale des Sciences de l'Ingénieur de Suède, une agence nationale pour le développement technologique. Devenant rapidement le bras armé du gouvernement pour stimuler la recherche et promouvoir l'innovation technologique. Après quelques restructurations, elle a été nommée VINNOVA en 2001 *et chargée de promouvoir une croissance durable en finançant la recherche et le développement axés sur les besoins dans le domaine des systèmes d'innovation efficaces* (Eklund, 2007).

De cette structure décentralisée et favorisant les projets concrets résulte un écosystème très favorable à l'innovation qu'elle soit de nature sociale ou technologique. Le Royaume se place souvent en tête des nations les plus innovantes¹³¹. Le BECCS, qui est une innovation énergétique pour lutter contre le réchauffement climatique, apparaît donc sous de nombreux aspects attractifs aux décideurs politiques.

¹³¹ L'écosystème d'innovation en Suède, Direction Générale du Trésor, 10 mai 2022

Parmi les promoteurs du BECCS en Suède, nous retrouvons donc logiquement des organismes publics tels que l'agence VINNOVA ou l'Académie Royale des Sciences de l'Ingénieur. Le premier a notamment financé l'élaboration d'une méthodologie de comptabilité des émissions négatives sur une centrale CHP de l'opérateur Söderenergi à Igelsta en 2021 en collaboration avec la start-up suédoise BioRecro, spécialiste du déploiement du BECCS¹³². Le second a hébergé en 2022 dans ces locaux de Stockholm la seconde édition des conférences sur le BECCS organisée par l'association industrielle Klimpo¹³³. Ces deux exemples en plus de montrer le soutien du gouvernement suédois démontrent également son rôle de facilitateur plutôt que de meneur dans le déploiement. Suivant le style politique caractéristique de la Suède, autant Vinnova que l'Académie ne portent pas directement les projets, mais apportent leurs concours par un soutien financier ou logistique à des entreprises ou associations privées qui sont les véritables acteurs du développement.

III. La Suède au carrefour international de l'intégration du BECCS

III.1. Le BECCS n'est pas seulement une technologie nationale

Nous avons vu plus haut les nombreux facteurs endogènes favorisant l'émergence du BECCS comme les représentations collectives sur l'indépendance énergétique qui ont stimulé le déploiement des réseaux de chaleur et tracé *une dépendance au sentier* climatiquement vertueuse. Le style politique suédois, en plus de valoriser l'innovation technologique, a aussi permis la monopolisation des réseaux de chaleur par une seule compagnie, souvent propriété de la ville et encouragé la conversion BECCS à Stockholm pour répondre à l'exigence d'exemplarité écologique. Toutefois, le BECCS n'est pas une innovation exclusivement nationale et propre à la Suède. Cette innovation se développe dans d'autres pays européens comme le Royaume-Uni ou extra-européens comme le Japon (Kraxner et al., 2014).

¹³²Rapport de l'agence Vinnova sur une nouvelle méthodologie de comptabilité du carbone : <https://www.vinnova.se/en/p/methodology-development-for-accounting-of-negative-emissions-via-beccs---case-study-chp/>

¹³³ Conférence sur le stockage de carbone en 2022 : <https://akercarboncapture.com/investors/events/the-carbon-capture-storage-conference-2022/>

III.2. L'internalisation des facteurs exogènes en Suède avec la MLP

Il existe donc aussi des facteurs exogènes d'échelle globale qui ont une influence nationale sur le développement du BECCS. Ces éléments sont particulièrement bien décrits dans l'approche positiviste de la perspective multi-niveaux (ou MLP pour *Multi-Level Perspective*) (Geels, 2002). Dans cette théorie, le développement du BECCS est animé par une logique rationnelle : le monde subit le problème du réchauffement climatique et cherche une solution technique adaptée. Le BECCS devient s'insère alors logiquement dans toutes les briques d'un grand système à plusieurs niveaux et représente un progrès à la fois industriel, scientifique et écologique.

Cette perspective qui adopte une vision très élevée du phénomène de transition technologique a l'avantage d'éclairer les facteurs rationnels globaux et l'inconvénient d'occulter les événements locaux et socio-politiques. Nous aurons recours à elle en nous appuyant sur le travail de (Lefvert et al, 2022) qui décrit de manière étendue les influences mondiales sur le BECCS en Suède.

D'abord, il organise en 3 niveaux le contexte suédois de l'émergence du BECCS en plaçant dans le niveau du *régime* les axes d'influence nationaux. Parmi les 13 éléments recensés, 5 sont directement d'ordre politique, à savoir 1) les politiques publiques suédoises, 2) les obligations nationales de réduction de gaz à effet de serre, 3) les demandes gouvernementales, 4) les incitations politiques en faveur du climat et 5) le fonds de subvention *Industrial Leap*. 3 autres sont des concepts de la transition énergétique tels que 1) l'efficacité énergétique, 2) la décarbonation et 3) l'électrification donc indirectement reliée à des politiques publiques d'incitation ou de coercition. Enfin, les cinq derniers font référence à des secteurs industriels suédois qui ont un potentiel pour développer le CCS ou le BECCS : 1) la cimenterie, 2) la sidérurgie, 3) les réseaux de chaleur, 4) les raffineries et 5) la papeterie. Nous nous sommes attardés dans les premières parties à décrire par quelles étapes historiques des politiques nationales avaient réussi, sciemment ou collatéralement, à transformer les réseaux de chaleur du pays de manière à ce qu'ils soient aujourd'hui un terrain favorable à l'émergence du BECCS.

Ainsi même à travers les dimensions matérielles de la transition, une grande visibilité est donnée aux déterminants de politiques nationales dans le *régime*. Surplombant le *régime* qui circonscrit plus ou moins les facteurs d'influence nationaux, le *landscape* rassemble les facteurs exogènes et globaux tels que : 1) l'urgence climatique, 2) la construction du hub de stockage norvégien Northern Lights, 3) les rapports du GIEC, 4) les concepts de Net Zero et d'émissions négatives nés à la suite des Accords de Paris et 5) les directives de l'Union européenne.

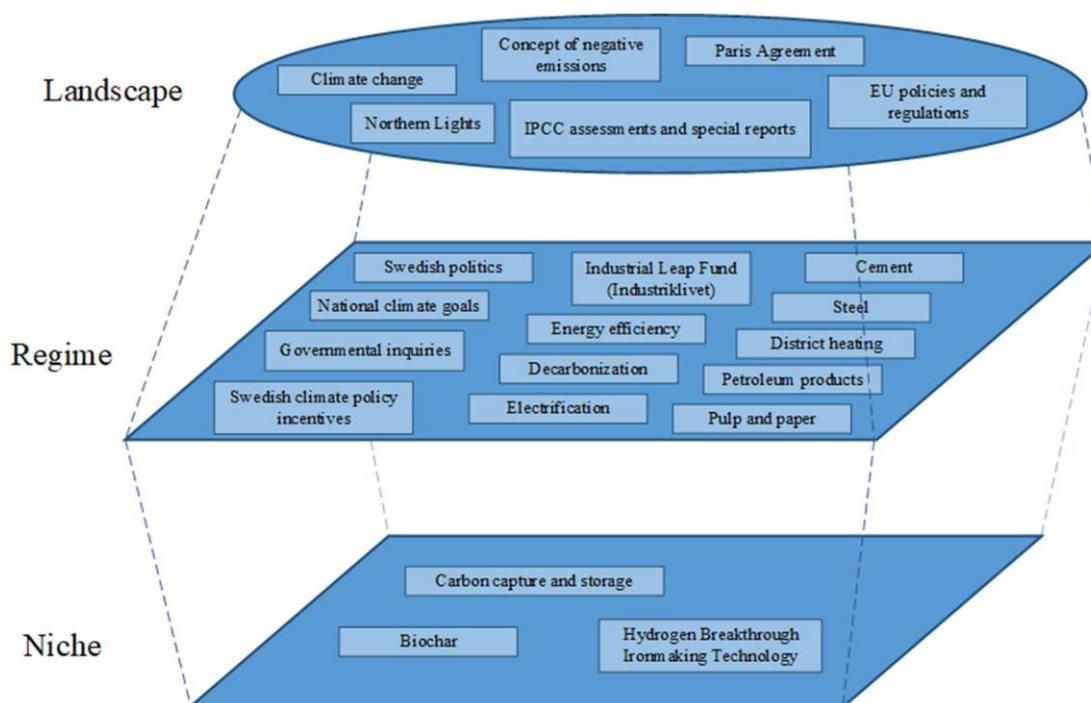


Figure 42: Représentation du contexte suédois d'émergence du BECCS avec la perspective multi-niveaux (Lefvert et al, 2022)

Parmi ceux-ci, Lefvert en relève trois qui ont eu un impact majeur sur la trajectoire suédoise du BECCS : d'abord, l'attention croissante accordée à l'urgence climatique, puis le nouveau cadrage du CCS à travers le BECCS et la production d'émissions négatives et enfin, la possibilité pour la Suède de stocker du CO₂ en Norvège avec le centre de stockage Northern Lights.

Pour l'urgence climatique, le sixième rapport du GIEC publié le 20 mars 2023 rappelle que les émissions de gaz à effet de serre augmentent, que la fonte des glaces s'accélère, que les catastrophes climatiques seront plus nombreuses si aucune action n'est entreprise pour réduire nos rejets de carbone dans l'atmosphère. Ce document qui a eu un grand retentissement médiatique¹³⁴ presse toujours les gouvernants de tous les pays à prendre des mesures et a un impact plus ou moins fort sur le déploiement du BECCS.

Le nouveau cadrage du CCS à travers le BECCS permet à la technologie d'échapper aux controverses qui lui ont valu son éviction des politiques climatiques européennes dans les années 2010. Accusé de verrouiller l'économie dans une dépendance aux énergies fossiles, le CCS s'est détaché des sources d'émissions fossiles, principalement les centrales à charbon, pour « s'attacher » aux centrales de bioénergie (Gough et Mander, 2019). Cette nouvelle association a l'avantage d'éviter les contestations du passé et de proposer un nouveau produit commercial susceptible de

¹³⁴ Reportage de TF1 sur le rapport du GIEC en 2023 : <https://www.tf1info.fr/environnement-ecologie/video-dereglement-climatique-il-y-a-urgence-selon-le-giec-mais-chaque-geste-compte-2251612.html>

porter le développement de l'innovation : les émissions négatives. La technologie CCS grâce à ce nouveau cadrage sort donc d'une impasse sociale et commerciale.

Enfin, la possibilité de stocker le carbone en Norvège est une opportunité pour la Suède qui n'a pas la possibilité de stocker sur son territoire à cause d'un manque d'acteurs spécialisés. Pas aussi logique que la MLP le laisse supposer, l'externalisation technique du stockage nécessite l'internalisation politique de cette possibilité.

III.3. Les négociations du protocole de Londres ou l'internalisation d'un facteur exogène

Stocker du CO₂ au large de la Norvège est une aubaine pour la Suède, qui n'a pas d'autres moyens de le faire. Toutefois, un protocole international pourrait l'empêcher d'en profiter. Le protocole de Londres sur la prévention de la pollution marine régule l'immersion des déchets en mer. Adopté en 1996 en remplacement de la Convention de Londres de 1972, ce traité juridiquement contraignant a été ratifié par une centaine de pays, dont la Norvège et la Suède. Afin de protéger le milieu marin de toutes les sources de pollution marine, le protocole interdit l'immersion de certains déchets, dont le dioxyde de carbone. En 2006, les parties contractantes ont amendé le protocole de façon à ce que le stockage de CO₂ dans les formations géologiques du sous-sol marin soit rendu possible sous certaines conditions notamment celle de conclure un accord bilatéral entre le pays qui stocke dans ses eaux territoriales et celui qui désire y stocker son CO₂¹³⁵.

Les acteurs industriels suédois désireux de stocker leur CO₂ dans les eaux norvégiennes devront attendre l'accord entre leur gouvernement et celui de la Norvège. C'est une forme d'internalisation d'un facteur exogène avec des spécificités nationales. L'Agence suédoise de l'énergie, à la demande de l'État suédois, a formulé une proposition de traité qui doit encore être négociée avec Oslo. Malgré une communication de la Commission européenne pour faciliter ce type d'accord, Stockholm a des exigences particulières notamment sur le fait de ne pas utiliser le carbone comme un moyen de récupération assisté d'hydrocarbure et se trouve obligé de réaliser un pacte sur mesure.

We have sent in a suggestion to our government and the government will do the negotiations with Norway and they have started the negotiations. Right now some new things are happening in this area. The European Commission released a communication stating that a lot of this agreement that already exists within the European Union makes it possible with only a minor treaty between the countries, more or less like some kind of minutes of understanding or something like that but the problem is that for Sweden and other countries,

¹³⁵ Extrait de la législation européenne de 2009 sur le stockage du carbone : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0031&from=LT>

that they still need a treaty since you like to regulate some things that are not covered by these treaties covering the European Union countries. For instance, I mean Swedish government is very clear the Swedish carbon dioxide cannot be used for enhanced oil recovery and that that is not covered by the common articles in the European Union. So we still need some additional treaty, or even if you could make it in a much simpler way than before due to this communication from the European Commission. [Senior Analyst de l'Agence Suédoise de l'Énergie, propos recueillis par F. Auclair, 2022]

L'exemple de la négociation du protocole de Londres montre que les principaux facteurs exogènes, même si leur pouvoir d'influence est grand, ne supplantent pas les facteurs endogènes et notamment politiques dans les trajectoires de déploiement du BECCS. En réalité, les facteurs exogènes ne sont pas intégrés directement dans le développement national de l'innovation. Ils sont « traduits » par les acteurs nationaux pour s'adapter localement. Ainsi la représentation positiviste des transitions de la MLP est incomplète si elle ne prend pas en compte le travail politique de traduction de ces déterminants extérieurs. Ces traductions ont lieu aux échelons nationaux à travers le gouvernement suédois, mais aussi locaux avec les municipalités.

IV. Le cas de Stockholm ou la décentralisation du déploiement du BECCS

IV.1. Les ambitions mondiales de la Ville

Le gouvernement n'est pas le seul à mener ses affaires en regardant le reste du monde, la municipalité de Stockholm a établi une stratégie Net Zero à l'horizon 2050 en compétition avec les autres capitales internationales. Recouvrant l'aire urbaine de Stockholm, cette municipalité rassemble près d'un million d'habitants. C'est la plus peuplée des 290 municipalités suédoises et également le siège du gouvernement national. La mairie de Stockholm comme elle le propose dans un plan de 2007 désire faire de la capitale une des grandes métropoles mondiales en termes d'influence économique, de qualité de vie (Rutherford, 2014).

In the introduction, the Mayor of Stockholm talks about “sharpening Stockholm’s competitive edge” and creating “an internationally competitive capital region”. As she argued: “We are sufficiently large to offer the sort of qualities that will enable us to compete with the world’s great metropolises” (City of Stockholm, 2007c, p. 3).

Dans ce contexte, la transition écologique est un élément important qui doit figurer dans le portefeuille des actions d'une mégalopole mondiale. Ainsi la décarbonation est associée par les élus à la compétitivité économique de la ville par l'intermédiaire de l'innovation technologique. Suivant

le courant de la modernisation écologique, la municipalité ambitionne de devenir une ville de rang international tout en s'affranchissant complètement des énergies fossiles.

The two objectives of becoming 'world-class' and 'fossil-fuel-free' are presented as achievable in parallel, with the latter contributing to the former, while "technological developments and economic growth now provide a solid foundation for an ecologically sustainable society" (City of Stockholm, 2007c, p. 11).

Toutefois, cet alliage politique entre écologie et économie reste fragile dans des conditions économiques réelles. La Suède comme d'autres pays n'a pas été épargnée par la récession économique de 2008 et l'augmentation du taux de chômage. Avec une pression plus sensible sur l'Etat-Providence et des défis sérieux pour l'emploi et l'industrie, des arbitrages économiques ont dû être réalisés. La version suédoise de la modernisation écologique qui entremêlait équitablement les intérêts économiques, le bien-être social et les valeurs environnementales a, dans les faits, accentué l'importance des variables exclusivement économiques aux dépens des autres critères. Les décisions politiques ont alors glissé vers une dimension technocratique dans laquelle les innovations technologiques sont des moteurs de la croissance économique. Le fossé entre le discours public privilégiant un équilibre entre économie et écologie et les décisions politiques s'est alors creusé et risque de se creuser encore (Lidskog et Ingemar, 2012).

Ajoutons à cela, la conception récente du Net Zero comme objectif ultime d'une ville véritablement écologique et l'innovation du BECCS peut alors trouver un environnement propice à son développement. Néanmoins, cette situation n'est pas advenue naturellement. La Suède dans le but de réduire ses importations d'hydrocarbures avait déjà entamé une réduction de ses gaz à effet de serre par le déploiement des RCU ou l'accroissement de l'usage de la biomasse. Les élus de la municipalité ont alors constaté sur les courbes d'émissions du dioxyde de carbone que cette *dépendance au sentier* était positive en matière de réduction de CO² et l'opportunité de prolonger jusqu'au Net Zero est devenue accessible grâce au BECCS.

Moreover, but linked to this, is the fact that the 'fossil-fuel-free' goal was actually officially adopted and taken up as a policy objective by the municipality after a handful of City politicians saw the existing declining curve on the CO₂ emissions graph for 1990–2005 and decided that, if the line was extended, it could be made to reach zero by 2050 [City of Stockholm Environment Department official, propos recueillis par J. Rutherford, Mai 2009].

IV.2. La coalition des acteurs : Convaincre et rassembler pour parvenir au Net Zero

Sur ce chemin du Net Zero, la municipalité peut s'appuyer sur sa compagnie de chauffage urbain : Stockholm Exergi. Cet industriel de la chaleur en position de quasi-monopole, revendique plus de 800 000 personnes chauffées grâce à leurs réseaux sur le million que compte la capitale suédoise. Sa production est fournie par 6 centrales réparties aux quatre coins de la ville et totalisant 3 700 MW de chaleur et 700 MW de puissance électrique.

Depuis la construction de la première centrale Hässelby au nord en 1959, la compagnie initialement nommée Fortum Värme a toujours été une *joint-venture* détenue à 50 % par l'énergéticien finlandais Fortum et à 50 % par la ville de Stockholm¹³⁶. Cette coopération très stable au cours du temps n'a été remise en question qu'une seule fois. Lorsqu'en 2020, Fortum décide de céder ses actifs de production de chaleur dans la région Baltique en vendant ses parts à Oslo et Stockholm. La coalition d'acteurs sur cette compagnie est donc relativement stable avec un seul changement au cours des 60 ans d'existence de la société. De plus, la stratégie de production des émissions négatives est partagée par l'ensemble de la coalition.

For the world to meet the climate change, both renewable energy and negative emissions are needed. Our goal is a climate-positive business in 2025 and to succeed in this, strong, committed and long-term owners are required who share our view of sustainability – properties such as the City of Stockholm, Fortum and the investor consortium led by APG all share. We want to thank Fortum for their important contribution as co-owners and look forward to the next chapter in our journey towards creating the world's first climate-positive capital, together with partners, customers and owners”, [Anders Egelrud, CEO of Stockholm Exergi. propos recueillis par Ingela Ulves, 2021]

Toutefois le concept des émissions négatives, qui semble unanimement accepté aujourd'hui, n'était pas aussi convaincant, il y a 5 ans et le consensus autour de cette stratégie n'était pas acquis. D'autant que les deux propriétaires de la centrale, la ville et l'industriel, ont des objectifs différents. Pour la ville, nous l'avons vu, il s'agit de se hisser parmi les meilleures capitales mondiales en termes d'exemplarité écologique tout en s'assurant de ne pas gaspiller l'argent public. Pour l'industriel, le but est de trouver un débouché commercial. Rassembler ces 2 objectifs sur une seule technologie a nécessité d'abord de prouver sa viabilité commerciale.

¹³⁶ Annas, Daniel, et Per Karlsson. « Stockholm Exergi Holding AB (Publ) », May, 2022

L'idée d'une démonstration commerciale d'émissions négatives a émergé en 2016 dans les bureaux de Stockholm Exergi. Le département Business & Strategy propose la production d'émissions négatives à la fois comme un relais de croissance et de compétitivité de la société et un moyen de se conformer aux accords de Paris à la direction.

I think in 2016, I presented to the company management team that I think we should go into negative emissions since it's required to fulfill the Paris Agreement. We need those negative emissions, unfortunately, but also as a proposal to increase our competitiveness on the market, we would have the energy product with the best climate performance and it would be a unique selling point for us. I think that was two motivations to be complying with the Paris Agreement and at the same time be more competitive on the district heating market.
[Strategy Manager Stockholm Exergi, propos recueillis par F. Auclair, 2023]

La proposition est reçue avec beaucoup de scepticisme autant par les acteurs municipaux que par les industriels. Pour surmonter leur méfiance, le département de stratégie lance un pilote de production de biochar, un type de charbon produit grâce à la pyrolyse de déchets verts et reconnu comme un puits de carbone. Le prototype est installé dans l'usine d'Högdalen et est alimenté par les déchets de jardin des Stockholmlois. En plus de la vente du biochar, la compagnie cherche aussi à vendre les émissions négatives et ainsi prouver l'existence d'un marché pour ce type de produit (Atalla et Kurt, 2020). 5 clients institutionnels dont l'Université Technique Royale de Suède se prête au jeu et achète ses émissions négatives pour compenser leurs propres émissions polluantes. L'expérience se conclut donc sur un succès et encourage les acteurs à poursuivre le déploiement des émissions négatives à plus grande échelle.

That was quite the breakthrough. And it's also it's very important to. I learn this once you have to suspend disbelief of the decision makers because they will always when you present something try to find weaknesses in your arguments and maybe or your visionary sometimes and or I mean I might be and present something that they think is it's a bit far out and then you have to prove that it's possible. So we sold it to these five customers and I think that was very important because that made the decision makers realize that, okay, we can. [48.5s] because it means that there is a market. We don't know how big it is, but there definitely is a market for negative emissions. [Strategy Manager Stockholm Exergi, propos recueillis par F. Auclair, 2023].

Avec le succès de la vente des émissions négatives du biochar, la preuve de l'existence d'un débouché commercial convainc les acteurs industriels. La stratégie Net Zero des acteurs municipaux

peut alors se réaliser à moindre coût. La coalition s'engage alors communément sur une trajectoire de déploiement du BECCS sur la centrale KVV8.

IV.3. Une centrale suédoise dans la vitrine européenne

De son nom complet, Värtekeven Biofuel Combined Heat and Power plant n°8, la centrale est située dans le quartier de Värtan, au cœur de la capitale suédoise à 5 km de l'Hôtel de Ville et du Parlement. Inaugurée en 2016 grâce à partenariat public/privé entre l'énergéticien finlandais Fortum et la ville de Stockholm, l'installation bénéficie de la proximité avec un port d'approvisionnement pour son combustible en biomasse.

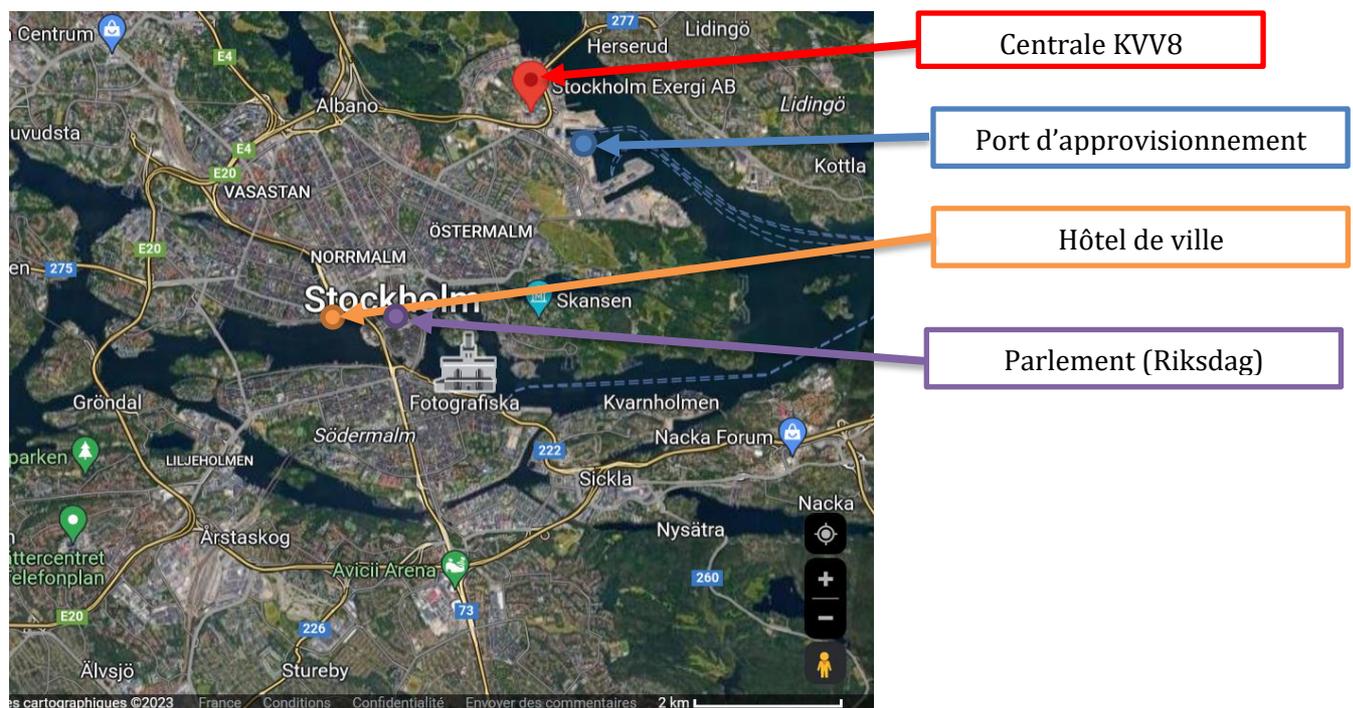


Figure 43: Position de la centrale KVV8 dans Stockholm (Google Maps, 2023)

L'innovation BECCS, actuellement stimulée par un programme de déploiement national que nous détaillerons plus loin, suscite un engouement auprès de nombreux acteurs industriels : énergéticiens, papetiers ou encore cimentiers. Dans cette constellation d'intentions et de projets, la centrale de Stockholm Exergi se détache pour plusieurs raisons, dont sa localisation très visible et sa gestion très politique, comme le rappelle un responsable de Klimpo, principale association de promotion du CCS en Suède :

Stockholm Exergi has a pilot plant, but also Oresundskraft and also Vattenfall has a pilot plant but maybe we talk more of Stockholm Exergi because they are also in the center of Stockholm. We have our politicians working here, the government and everything. So maybe that's why there is so much attention to Stockholm Exergi but there are a lot of projects that have been developed really far. [Directeur Klimpo, propos recueillis par F.Auclair, 2022]

En plus d'une position géographique attrayante, le projet stockholmois tire profit d'une grande attention médiatique grâce à une équipe de communication dynamique et le soutien de nombreuses institutions et personnalités. La société a compté, par exemple, plus d'une vingtaine de visites de personnalités pour l'année 2022. Parmi ces visites, les plus notables sont celles de la présidente de la Commission européenne Ursula Von Der Leyen le 7 avril, des couples royaux de Suède et du Danemark le 12 octobre 2022¹³⁷ et la chanteuse britannique pop Ellie Goulding, en tant qu'ambassadrice du Programme des Nations Unies pour l'Environnement le 9 juin 2022¹³⁸. Tous les canaux de communication sont bons pour promouvoir la conversion vertueuse de la centrale au BECCS comme le souligne la responsable communication de Stockholm Exergi.

We work on our social media quite a bit with blogs, press releases, LinkedIn, Twitter and so on. We will be at the COP 27. We were just nominated in the European Sustainable Energy Awards. We invite newspapers. We've been having a lot of media attention for this and we have, you know, good celebrities coming here. For example, we had Ursula von der Leyen in here this spring. Now we will have the Royal House from Netherlands. [Directeur communication Stockholm Exergi, propos recueillis par F. Auclair, 2022]

La ville de Stockholm se fait encore le relais de cette initiative à travers la presse ou les événements internationaux qu'elle héberge. Par exemple, en juin 2022 lors de l'évènement **Stockholm+50** qui est une réunion internationale convoquée par l'Assemblée générale des Nations Unies pour commémorer la déclaration de Stockholm de 1972 et la création du programme des Nations Unies pour l'environnement, une visite de la centrale était organisée pour les maires des grandes villes du monde¹³⁹. Cette centrale BECCS agit comme une vitrine pour les autorités municipales qui y voient autant un enjeu d'exemplarité écologique que de supériorité technologique dans leur projet de faire de Stockholm « une ville-monde ». L'idée d'exporter cette innovation dans d'autres villes est un argument ouvertement dispensé par la municipalité pour conforter leur position dans cette

¹³⁷ Communiqué de presse de Stockholm Exergi sur la visite de la centrale KVV8 par le couple royal du Danemark : <https://beccs.se/news/royal-visit/>

¹³⁸ BECCS Stockholm official website, "BECCS Stockholm receives over 20 international visits during the first half of 2022", Wednesday July 13, 2022

¹³⁹ Communiqué de presse de Stockholm Exergi sur la visite internationale des maires :

<https://beccs.se/blogg/cdr/international-mayors-visit-vartaverket-during-un-climate-conference/>

entreprise¹⁴⁰. Ainsi le cadre législatif de la ville s'adapte comme le confirme Asa Lindhagen, une députée du Parti des Verts en charge du dossier :

We strongly believe that district heating, using BECCS, can be a viable solution for cities. Given the significant emissions created worldwide by heating cities, a shift toward fossil fuel-free district heating solutions would lead to a dramatic cut in emissions, as Stockholm has shown. [Asa Lindhagen, députée à Stockholm, propos recueillis par Charlie Duxbury, 2022]

Les enjeux du soutien de la ville sont donc assez clairs et ceux de l'entreprise sont, en revanche, plus protéiformes. Pour Stockholm Exergi, l'objectif principal est de donner au BECCS un cadrage médiatique vertueux pour améliorer son acceptabilité sociale, mais aussi un relais de croissance et de compétitivité économique. Les conditions d'obtention des financements européens à travers l'*European Innovation Fund (EIF)*, s'alignent justement sur ces objectifs en mettant en lumière la nécessité pour ce projet de « devenir une technologie économiquement compétitive et de gagner l'acceptation du public »¹⁴¹.

Héritier du fond NER300 des années 2000, l'EIF a pour objectif le financement des technologies innovantes de réduction de gaz à effet de serre. Ouvert en 2020, c'est l'un des programmes de financements les plus importants au monde avec une enveloppe à distribuer de 38 milliards d'euros sur dix ans et entièrement financé par le marché ETS. Ses principaux appels à projets concernent les technologies de décarbonation de l'industrie, le développement des énergies renouvelables, le stockage de l'énergie et enfin les technologies CCS.

Sur les sept projets CCS qui ont été reçus lors second appel du fonds en 2021, celui de Stockholm Exergi a obtenu une enveloppe de 180 millions d'euros. L'initiative a séduit les experts européens pour trois raisons : 1) son utilisation à grande échelle d'une nouvelle technologie de captage au bilan économique très compétitif, 2) son insertion dans la stratégie européenne (SET Plan) visant à accélérer la décarbonation avec des technologies économiquement compétitives et acceptables socialement et 3) sa répliquabilité dans d'autres lieux pour une augmentation des capacités. Ainsi l'adhésion du public et la compétitivité économique sont deux conditions essentielles pour l'obtention du financement et sont également très surveillées par la Commission européenne.

La localisation de la centrale au cœur de Stockholm en fait un test grandeur réelle de l'acceptabilité de ce type de technologie. Si dans une zone aussi densément peuplée la construction d'une usine de

¹⁴⁰ Duxbury, Charlie, "Stockholm bets on carbon capture to hit net zero", Politico Pro, 17 novembre 2022

¹⁴¹ Publication de la commission européenne sur le BECCS à Stockholm en 2022 :

https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2022_beccs_en.pdf

captage est aux mieux approuvée, ou au pire tolérée par la population, l'ensemble des acteurs du CCS, dont notamment la Commission européenne, interpréteront cela comme un signe de bon augure pour le nouveau cadrage « d'acceptabilité » de la technologie. Sur la compétitivité économique, l'EIF a aussi été accordé à Stockholm Exergi dans une optique de développement à long terme de la production d'émissions négatives afin que ce projet soit « un catalyseur pour tracer les contours d'un nouveau marché d'émissions négatives »¹⁴².

Le fond européen n'est pas le seul avantage pécunier de Stockholm Exergi sur ses concurrents nationaux. L'Agence Suédoise de l'Énergie, l'autorité administrative suédoise sur toutes les questions relatives au réseau de chaleur et à la transition énergétique, a financé grâce à l'*Industrial Leap Fund* une partie de la R&D qui a permis de mettre au point la technologie innovante de captage de la centrale. Rappelant que « la Suède doit être le 1^{er} État Providence sans énergie fossile », le programme de financement national *Industrial Leap Fund* inauguré en 2018 par le gouvernement suédois pour soutenir les progrès technologiques dans les 3 domaines suivants : 1) réduction des gaz à effet de serre dans les procédés industriels, 2) production d'émissions négatives par le BECCS, 3) initiatives stratégiques sur un plan sociétal en faveur du Net Zero est doté d'un montant de 1 354 millions de couronnes, soit approximativement 120 millions d'euros jusqu'en 2030¹⁴³.

IV.4. Un nouveau procédé de captage financé par les agences régionales

Suivant le deuxième point de ce plan de financement, Stockholm Exergi a bénéficié à l'automne 2019 d'une aide pour mener un pilote de captage en post-combustion avec un solvant de carbonate de potassium à haute température (*HPC* pour *Hot Potassium Carbonate*) dans leur centrale de Stockholm¹⁴⁴. Moins répandus que les solvants à base d'amines, les HPC ont pourtant de nombreux atouts pour le captage post-combustion du CO₂. Leur régénération est moins énergivore. Ils sont moins toxiques, très peu volatils, coûtent moins cher et sont plus résistants à la dégradation induite par les SO_x et les NO_x. Néanmoins, son taux de captage du carbone est plus lent, ce qui nécessite l'installation d'infrastructures d'échanges plus importantes et par conséquent, plus coûteuses et plus encombrantes. De plus, les transferts au sein des équipements sont plus compliqués à cause des précipitations chimiques induites par les réactions avec le carbone (Smith et al., 2016).

¹⁴² Innovation Fund, "BECCS Stockholm: Bio Energy Carbon Capture and Storage by Stockholm Exergi", European Commission, April 2022

¹⁴³ Helstad, Klara, Head of Sustainable Industry Unit, "De-carbonisation of Swedish industries, the Industrial Leap programme", Swedish Energy Agency, 2018

¹⁴⁴ Möllersten, Kenneth, Lars Zetterberg, Tobias Nielsen, Asbjörn Torvanger, Hanne Siikavirta, Lauri Kujanpää, et Ilkka Hannula. *Policies for the promotion of BECCS in the Nordic countries*. TemaNord. Nordic Council of Ministers, 2021.

Plusieurs projets pilotes en Amérique du Nord et en Australie ont vu le jour avec pour objectif d'adapter ce procédé HPC sur des centrales à énergie fossile et bien que le procédé soit efficace le taux de captage est resté en deçà des 50 % de CO₂¹⁴⁵. Les recherches entreprises à Stockholm Exergi avec le soutien des fonds de l'Agence Suédoise de l'Énergie ont permis d'améliorer ce taux de captage jusqu'à 90 %. Au prix d'une amélioration et d'une adaptation du procédé HPC aux caractéristiques particulières de la centrale stockholmoise, une plus grande quantité d'énergie est détournée vers le captage sans pénaliser le rendement énergétique global. La majorité des expériences avec ce type de captage impose une pénalité énergétique supérieure à 50 %, c'est-à-dire que la moitié de la quantité d'énergie produite qui émet en sous-produit une tonne de CO₂ est nécessaire pour capturer une tonne de CO₂ (Vasudevan et al., 2016).

Or la centrale de Vartan affiche une pénalité énergétique au maximum de 4 % grâce à deux avantages spécifiques de cette centrale. D'une part, l'intégralité de la production électrique est détournée pour alimenter le captage ; ce qui est possible par le fait que cette centrale n'a qu'une obligation de production de chaleur, contrairement à d'autres centrales CHP (Levihn, 2017). D'autre part, la chaleur fatale, qui serait autrement perdue, est réinjectée dans le réseau de distribution urbain en donnant ainsi à ces pertes énergétiques une valeur économique. Cette pénalité énergétique traduit ainsi des rapports de production et de consommation qui semblent très avantageux et laissent croire une rentabilité supérieure de ce procédé avec une centrale CHP. Toutefois, les types d'énergie consommée et produite sont différents et par conséquent, leurs valeurs économiques varient également et cela impacte inévitablement les revenus du producteur comme le rappelle un responsable de l'Agence Suédoise de l'Énergie :

There is no business case in BECCS today. If a company will do BECCS they will lose in production. I mean, if it's a combined heat and power plant, they will lose heat production or they will lose electricity production and there is no way to get back these costs. [...] If you look at Stockholm Exergi with the technique they use. They will lose all electricity production. They have an installed capacity of 140 megawatts or something like that, which means that there is something on the order of 600 gigawatts.hours that it lost during one year. [Senior Analyst à l'agence suédoise de l'énergie, propos recueillis par F.Auclair, 2022]

En effet, le captage consomme de l'électricité à haute valeur commerciale et produit de la chaleur à plus faible valeur. En termes de puissance énergétique, la perte est relativement faible, mais en termes économiques, le fossé peut se creuser rapidement. Alors que le coût du captage est presque

¹⁴⁵ *Ibid.*

nul quand les valeurs de l'électricité et de la chaleur sont équivalentes, celui-ci augmente rapidement avec l'accroissement de la différence de valeur. Par exemple, en prenant les prix moyens de 2021, la chaleur se vend à 53,72 €/MWh (Egüez, 2021) et l'électricité à 64 €/MWh (fig.7) ; la différence entre les deux produits est d'environ 10€ alors le coût du captage sera très faible.

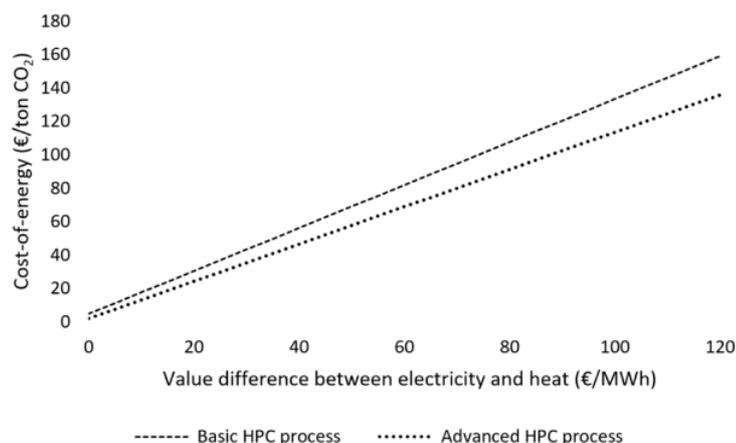


Figure 44 : Coût du captage de CO₂ avec le procédé HPC selon la différence de valeur économique entre l'électricité et la chaleur (Gustafsson et al, 2021)

Toutefois, les prix de l'énergie et particulièrement celui de l'électricité ont bondi pendant l'année 2022 avec un prix moyen de l'électricité plus proche des 140 EUR/MWh. Dans ces conditions et en conservant les coûts de la chaleur de 2021, le coût du captage monterait de presque rien à approximativement 100€ par tonne de CO₂. Un tel montant, s'il restait à ce niveau, permettrait de s'aligner avec le marché du carbone européen dont le prix a atteint il y a peu le pic historique de 100€ par tonne de CO₂¹⁴⁶, garantirait une rentabilité au producteur.

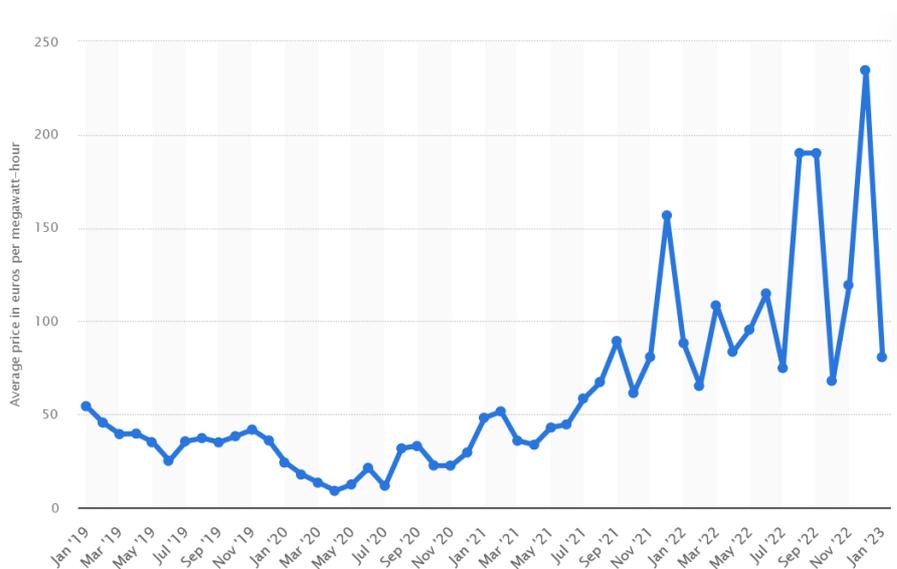


Figure 45: Évolution du prix moyen de l'électricité en EUR/MWh en Suède entre janvier 2019 et janvier 2023 (Source : Ember)

¹⁴⁶ Bellaïche, Anne-Sophie, « Pourquoi une hausse durable du prix de la tonne de CO₂ en Europe est inévitable », l'Usine Nouvelle, 1^{er} Mars 2023.

La rentabilité du procédé est donc extrêmement sensible aux variations du prix de l'énergie. Avec la transition énergétique, l'essor des énergies renouvelables intermittentes et les ruptures d'approvisionnements, ces prix ne sont pas particulièrement stables, ce qui fragilise la confiance dans la trajectoire BECCS avec un captage HPC. Malgré cette innovation dans la chimie des solvants et le discours sur la compétitivité économique, les difficultés entourant la rentabilité de long terme du BECCS restent toujours un obstacle à un déploiement industriel de la technologie (Navedkhan et al., 2022).

En 2023, les prix de l'électricité sont devenus très volatils avec une tendance forte à la hausse et les projections ne suggèrent pas une baisse prochaine en Europe et encore moins en Suède. Le Royaume est, en effet, confronté à une dichotomie structurelle d'approvisionnement en électricité entre le Nord et le Sud de son territoire. Les capacités de production sont plus importantes au Nord où les barrages hydroélectriques sont nombreux, mais les bassins de consommation, les zones fortement peuplées, sont situés au Sud. Pour un pays tout en longueur, s'étendant du nord au sud sur presque 1600 km, cette séparation géographique n'est pas anecdotique. « Plus un réseau est long, plus les matériaux qui le constituent font résistance au transfert d'électricité, entraînant des pertes sous forme de chaleur par effet joule. Au total, près de 9 TWh, soit 7 % de la consommation finale d'électricité du pays, sont perdus chaque année dans les réseaux, ce qui fait de la Suède le pays européen le plus sujet à ce problème, avec la Norvège. Ces pertes, attribuées à l'éloignement, sont mécaniquement répercutées sur le prix national de l'électricité [...]. Dans le Sud, qui plus est, le risque de coupures de courant est perçu comme un élément répulsif pour l'implantation de nouvelles industries » (Meyer, 2017).

Le problème fondamental est que trop peu d'électricité est produite dans le sud de la Suède, où de nombreuses personnes vivent, alors qu'il y a beaucoup d'électricité dans le nord du pays, où les besoins ne sont pas aussi grands. [...] Il n'y a qu'une solution, produire au sud !
[J.Görtjler, député suédois des régions méridionales, propos recueillis par T. Meyer, 2014]

L'insuffisance de l'offre d'électricité face à l'importante demande dans le sud du pays, en plus de faire augmenter mécaniquement les prix, menace de limiter la répliquabilité du projet de Stockholm Exergi. Cette contrainte sur le réseau va diminuer le potentiel des conversions BECCS pour ce type de centrale CHP raccordé aux réseaux de chaleur urbain. Si le projet de Stockholm réussit, il est probable que ce soit l'un des seuls dans le sud de la Suède. Il mérite donc que nous nous intéressions de plus près à son histoire et à ses caractéristiques techniques.

IV.5. La centrale KVV8 de Värtan, le gâteau du mariage entre la bioénergie et le CCS ?

Inaugurée le 9 mai 2016 au large du détroit de Värtan, la centrale CHP8 (KVV8 pour KraftVärmeVerk 8 en suédois) a des puissances utiles électriques de 130 MW et thermiques de 280 MW. La centrale est à son lancement une des plus puissantes unités de production d'énergie à partir de biomasse du monde. Après avoir obtenu les permis environnementaux en 2008, la construction commence en 2013 avec un budget estimé à 500 millions d'euros (Lohmann et Sarker, 2013). Comme la capitale est densément peuplée, environ 1,5 million d'habitants vivent à Stockholm, la majeure partie de l'infrastructure logistique, comme les tapis d'approvisionnement et les réservoirs de stockage, est souterraine. En réutilisant d'anciennes cavités, précédemment utilisées pour le stockage d'hydrocarbures, l'usine limite sa surface au sol et évite les émissions nuisibles de poussières et de bruits, très surveillées en zone urbaine. Dans ces entrepôts souterrains pourront être stockés environ 60 000 m³ de copeaux de bois ou l'équivalent de cinq jours de consommation.

Étant adéquatement positionnée aux croisements des axes routiers, ferroviaires et maritimes, KVV8 a prévu d'être approvisionné à 40 % par des convois de trains en provenance de Scandinavie et 60 % par des échanges avec bateaux des régions de la Baltique, pour lesquels un nouveau quai de 200 mètres de long a été construit. L'objectif est à la fois de garantir la sécurité de l'approvisionnement tout en élargissant les possibilités d'accès aux différents marchés de biomasse du Nord de l'Europe¹⁴⁷. En moyenne, la chaudière de 330 MW consomme 3 ou 4 cargaisons de navires en plus de 5 trains chargés chaque semaine. La chaleur produite alimentera le réseau de distribution de presque 200 000 foyers.

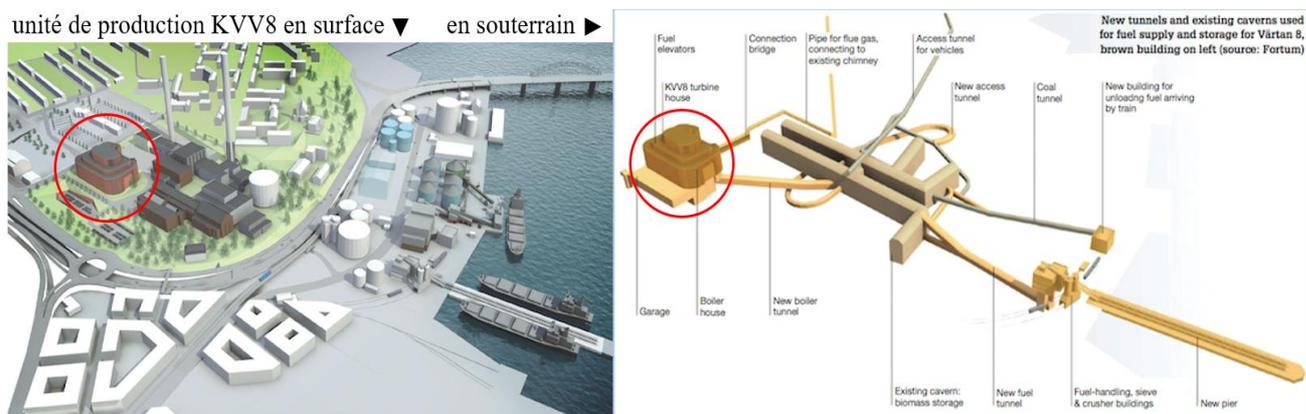


Figure 46: Vue aérienne de KVV8 et alentour, en surface (à gauche) et en souterrain (à droite)

Le projet Värtaverket s'affiche donc résolument comme une vitrine de la stratégie écologique de la ville. De par sa consommation exclusive de copeaux de bois et de déchets de bois, l'unité de

¹⁴⁷ Patel, Sonal "One of the World's Biggest Biomass-Fired CHP Plants is inaugurated", Power, 1er juillet 2016

production réduira les émissions de CO₂ de 126 000 tonnes par an pour le chauffage et en prenant en compte les impacts de la production électrique, la quantité d'émissions négatives sera augmentée de 650 000 tonnes par an (Dittrich et Lillieroth, 2019).

Enfin, pour garantir l'approbation des habitants l'implantation en ville a été très soignée autant des points de vue technique qu'esthétique. Techniquement, les machineries devaient être infaillibles pour que le risque d'une catastrophe ébranlant le centre de Stockholm soit quasi-nul. Les normes de sûreté, de réduction de bruit et de protection environnementale ont été augmentées avec des milliers de tests dans des conditions extrêmes, confirmés par le chef du chantier :

We reached what you could say was full commercial production in April 2016. Before that we had to make thousands of safety-related checks as the site is so close to the city. We had to push the boiler to the absolute limit, and then kick it out, to make sure that all the fail safes we had in place worked, and only then we could think about stable operation. [Mats Strömberg, Senior Project Manager KVV8, propos recueillis par Bernard Haimel, 2017]

À l'inverse de nombreuses centrales dont l'apparence est purement fonctionnelle avec des ensembles tout en béton et en tuyau, KVV8 a une esthétique très choyée. Son design unique en forme de « gâteau de mariage »¹⁴⁸ avec ces 3 étages décalés a même remporté plusieurs prix d'architecture avec parmi ceux-ci, la très remarquée *Gold Medal American Architecture Prize 2017*. Ses façades en rondeur sont constituées d'éléments élancés en terre cuite avec une teinte chaude rouge pour imiter les briques des bâtiments historiques voisins afin de s'insérer de la façon la plus douce dans le paysage urbain existant.

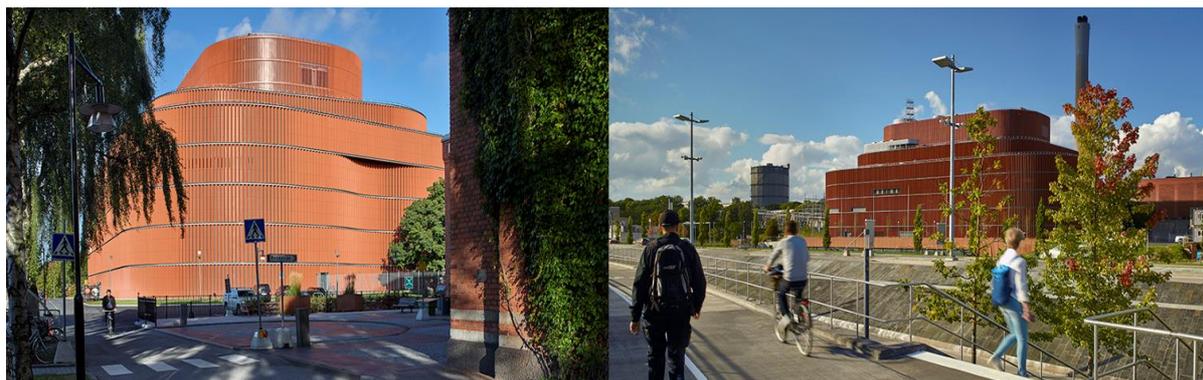


Figure 47: Deux vues de la centrale KVV8 depuis les rues adjacentes (photos : Mikael Olsson & Robin Hayes)

¹⁴⁸ Haimel, Bertrand, "The Icing on the Cake, Stockholm's environmental Masterpiece", *Andritz* n°35, Jan 2017

Conclusion : un alignement des niveaux politiques pour le développement de l'amont du BECCS

Après cette revue contextuelle de l'environnement suédois et particulièrement stockholm, nous constatons que la chaîne amont du BECCS qui pose tant de difficultés en Angleterre et qui fonctionne déjà bien en Suède. L'écosystème des producteurs forestiers et des consommateurs de bois de toutes sortes est largement développé et soutenu par une législation favorable et une position stable du gouvernement en faveur de la bioénergie.

De plus, les positions de la municipalité de Stockholm, qui garde une grande marge de manœuvre dans les décisions de la production énergétique sur son territoire, sont alignées avec les objectifs de décarbonation et de développement technologique que l'État. Même si les objectifs sont différents, car l'État doit respecter ses contraintes légales alors que la Ville de Stockholm veut profiter du BECCS pour rayonner à l'international, les deux acteurs œuvrent de concert à leurs niveaux pour permettre l'émergence de cette innovation.

Le tableau ci-dessous récapitule les différences et similitudes de cet alignement des niveaux politiques selon notre grille d'analyse.

Facteurs Niveaux	Matérialité	Style politique	Configuration d'acteurs	Représent. collectives	Internalis. des facteurs exogènes	Forme de soutien politique
National : Le Royaume de Suède	De larges forêts déjà bien exploitées mais pas de zone de stockage	La culture du consensus et un soutien libre et régionalisé aux initiatives locales	Les agences du gouvernement, les acteurs forestiers et l'Union Européenne	Les énergies fossiles sont des vecteurs de dépendances et de pollution	Les directives européennes dans le choix des IAPs. La biomasse pour éviter le pétrole	Taxe sur l'énergie devenue taxe sur le carbone. Subventions pour la R&D.
Local : La municipalité de Stockholm	Une centrale de chaleur à biomasse au cœur de la ville et à proximité d'un port	Impulsion de la transformation BECCS grâce à des échanges avec l'opérateur privé de la centrale	La municipalité de Stockholm, propriétaire à 50% et Fortum, l'autre propriétaire privée	Le BECCS est une étape nécessaire pour l'exemplarité écologique de Stockholm, cité-monde	Compétition entre les mégapoles mondiales pour la qualité de vie et la décarbonation	Des discours promotionnelles et des visites d'Etat ainsi que des fonds sont alloués pour l'innovation

Figure 48 : Évolutions des facteurs contextuels sur les deux niveaux suédois (Auclair, 2023)

En plus de cette vision sur deux niveaux, nous partageons aussi le travail d'Oscar Stenström, un étudiant suédois qui décrit le système socio-technique d'émergence du BECCS comme le croisement de facteurs sociaux et techniques. Son analyse, bien que plus techniciste que la nôtre, chevauche avec un autre angle d'approche qu'il nous a semblé intéressant de montrer pour insister sur la nécessaire prise en compte des facteurs politiques dans la trajectoire de développement technologique.

En effet, la Suède est un terrain d'étude privilégié pour évaluer les critères socio-techniques qui forment les trajectoires du BECCS. Les facteurs endogènes, propres au pays, ont une influence majeure sur la trajectoire autant par le passé à travers *une dépendance au sentier* dans la matérialité

des réseaux de chaleur et leur usage de la biomasse que dans le présent avec le désir d'exemplarité écologique au niveau national comme au niveau de la ville de Stockholm. D'autres facteurs exogènes (à droite dans la figure 46) ont aussi une influence, comme les accords de Paris ou les réglementations sur le stockage du carbone comme le protocole de Londres, mais ceux-ci ne sont pas directs. Ils sont traduits par les acteurs locaux et les institutions nationales.

Parmi les facteurs endogènes (à gauche dans la figure 46), la matérialité de la trajectoire se trouve principalement dans la présence quasi-hégémonique d'une industrie de la chaleur fonctionnant majoritairement grâce à la biomasse. La coalition des acteurs rassemble des acteurs municipaux et industriels aux ambitions divergentes, mais avançant dans un but commun. Pour la municipalité de Stockholm, il s'agit d'atteindre le Net Zero pour respecter ses ambitions de réduction à effet de serre et de rayonnement international et pour l'exploitant Stockholm Exergi, il s'agit de développer un relais de croissance et d'une position d'expertise dans la production d'émissions négatives commercialisable à l'étranger. Les représentations collectives d'indépendance énergétique ont encouragé par le passé une conversion des énergies fossiles vers la biomasse et aujourd'hui, celles d'exemplarité écologique et de réindustrialisation suscitent la création d'un mécanisme de financement exclusivement dédié au BECCS : les enchères inversées. Le style politique laisse une grande liberté aux municipalités pour adopter le BECCS à des échelles locales, potentiellement plus acceptable socialement et faisable économiquement. L'intervention de l'État dans l'économie de l'innovation a porté la R&D des acteurs industriels et leur a permis d'accomplir des percées décisives notamment sur le captage avec les procédés HPC.

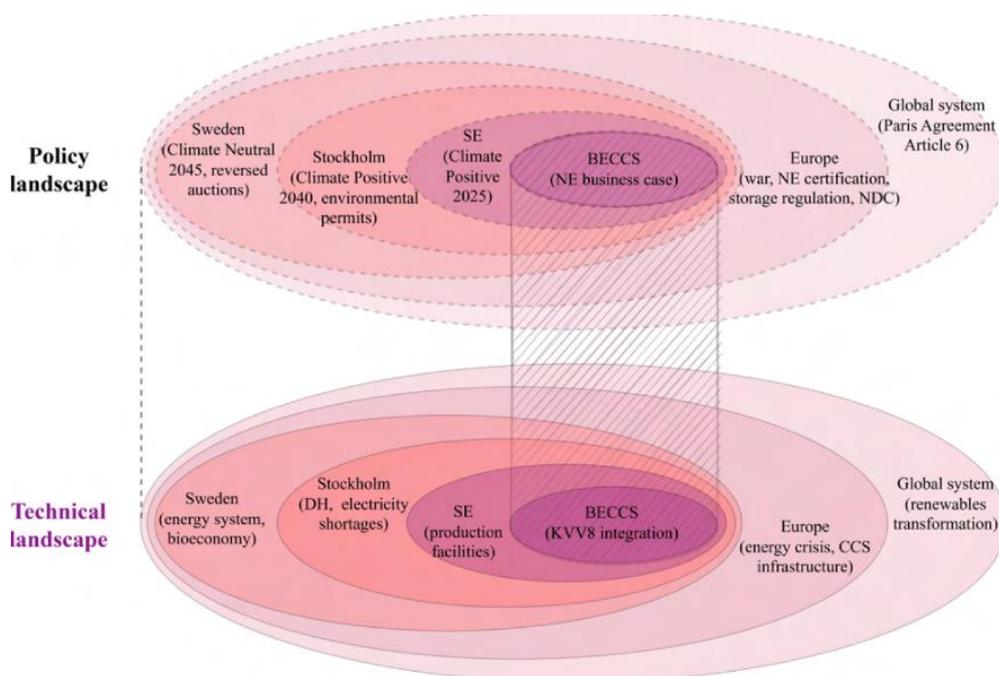


Figure 49 : Position du BECCS à KVV8 au sein du système socio-technique suédois (O. Stenstrom, 2023)

Partie II

L'acceptabilité de KVV8, cristal du Net Zero en Suède

Ce contexte bien différent de celui de l'Angleterre suscite des problématiques d'acceptabilité tout aussi différentes. Comme nous avons changé la forme de la présentation de la partie 1 entre les enquêtes anglaises et suédoises, nous faisons de même avec la partie 2 en inversant la verticalité des acceptabilités. Par conséquent, nous commencerons par les débats les plus locaux pour remonter progressivement aux contestations sur la légitimité du développement de la filière BECCS en Suède.

Ainsi la première différence est la crainte des promoteurs d'entrer en conflit avec des citoyens sur leurs projets. Ensuite, nous trouvons les difficultés logistiques et environnementales pour agrandir le projet au-delà de la centrale de KVV8 rendant une augmentation de l'échelle de production des émissions négatives peu probables. Enfin, en concordance avec le projet anglais les débats sur le business-model et l'adéquation techno-politique du BECCS agitent aussi l'environnement suédois.

I. L'effet structurant du NIMBY : Des souvenirs qui réveillent des craintes

C'est ce que nous avons repéré dans l'état de l'art comme étant l'effet structurant du NIMBY. Dans le cas du BECCS, les promoteurs suédois gardent le souvenir de l'échec du déploiement du CCS en Allemagne par le producteur d'électricité suédois, Vattenfall, et connaissent l'importance d'éviter les conflits avec les riverains et les activistes.

I.1. Deux projets, deux ambiances : l'effet structurant du NIMBY avec le RETEX de Vattenfall en Allemagne

Entre 2004 et 2013, plusieurs projets de stockage on-shore de carbone émergent en Allemagne dont deux à proximité de la capitale germanique. Le projet CO₂Sink à Ketzin porté par le centre de recherches allemand de géosciences, l'équivalent germanique du BRGM, et le projet à Beeskow initié par l'entreprise suédoise. Les deux projets avaient pour objectif à terme de stocker les émissions de la centrale thermique à charbon de Schwarze Pumpe, la sixième plus polluante d'Europe et exploitée par Vattenfall¹⁴⁹. Bien que les deux sites aient des finalités identiques, les modalités de déploiement sont différentes et ont reçu, par conséquent, des accueils différents des populations et des élus. Alors que le stockage de Ketzin se déroule relativement bien, celui de

¹⁴⁹ <https://www.theguardian.com/business/2019/apr/01/ryanair-new-coal-airline-enters-eu-top-10-emitters-list>

Beeskow devient rapidement la cible de nombreuses critiques et contestations tant au niveau local que national (Dütschke, 2011). Plusieurs raisons expliquent cette différence de réception.

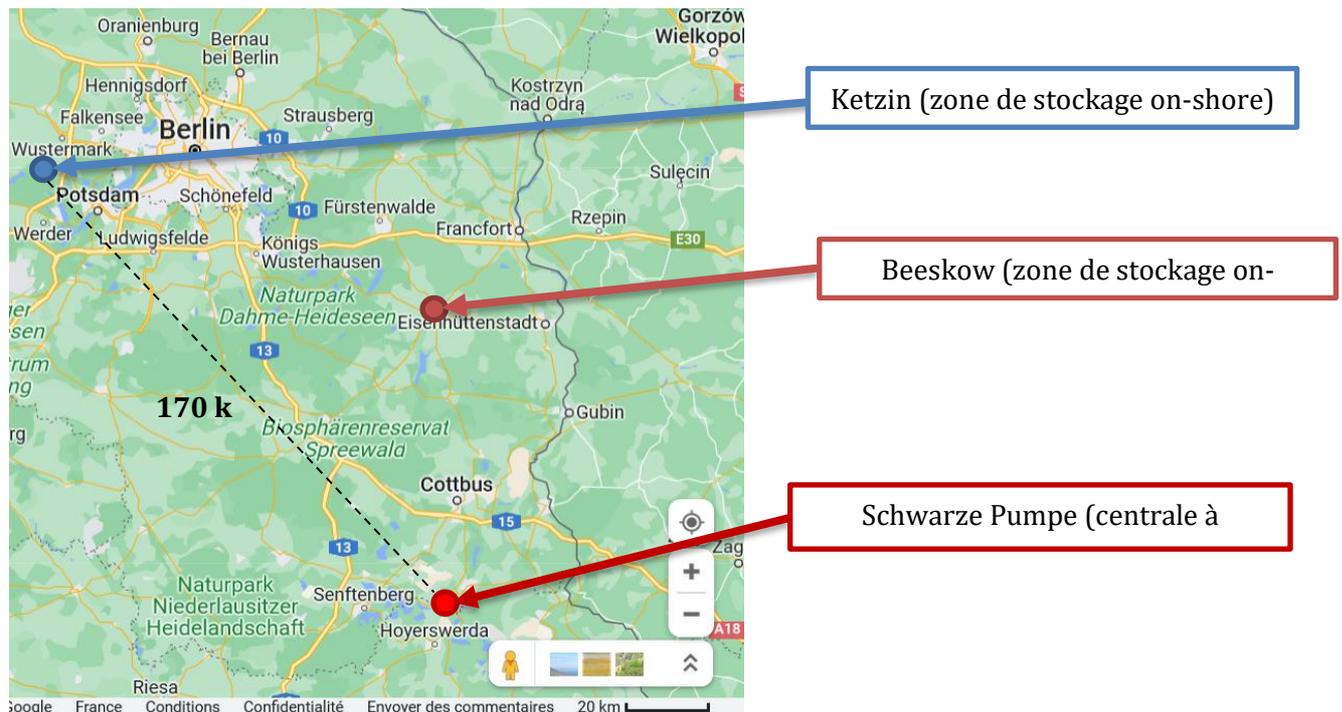


Figure 50: Emplacement des projets CCS de Ketzin et Beeskow, Allemagne (Google Maps, 2023)

À Ketzin, le stockage est pensé comme un pilote scientifique pour une éventuelle future revalorisation d'un ancien gisement de gaz déplété demandé depuis plusieurs années par la mairie de la ville. Le projet est majoritairement financé par le gouvernement fédéral allemand et l'Union européenne. De nombreuses universités et laboratoires de recherches rejoignent le consortium auquel peu d'industriels participent. Dès l'obtention des financements en avril 2004, le projet est présenté en conseil municipal et dans les différentes communautés alentour par les élus municipaux et son déploiement est abondamment couvert par la presse locale et nationale. L'injection de CO₂, acheminé par camion-citernes en provenance de la centrale de Schwarze Pumpe, débute en juin 2008 et s'achève en août 2013 (Prevedel et al., 2014). Sur toute cette période et malgré l'augmentation du trafic routier, aucune protestation n'est à signaler. Le projet est alors considéré par toutes les parties prenantes : chercheurs, exploitants, élus et médias comme un succès, laissant entrevoir des perspectives de développement plus large du CCS en Allemagne (Streibel et al., 2014).

À Beeskow, l'histoire leur donnera tort. Encouragé par les bons résultats préliminaires de Ketzin, Vattenfall dépose une demande de permis pour explorer en mars 2009, un potentiel stockage en cavité saline dans une zone naturellement riche et relativement peu peuplée. L'initiative est intégralement et exclusivement portée par Vattenfall avec le concours financier de l'Union européenne. Le conseil régional de Brandenburg soutient également le projet qui est en accord avec la stratégie énergétique du *Länder*. Dès le début, l'objectif est d'atteindre une capacité de stockage

industrielle au moins pour la centrale de Schwarze Pumpe, possiblement extensible à d'autres centrales. Les municipalités ont été informées, mais non incluses dans le déroulement du chantier. La campagne de communication pour promouvoir et expliquer le stockage, bien qu'étendue à de nombreux médias a été tardive, et n'a pas permis de rassurer les opposants dont la campagne contre a eu un plus grand retentissement (Dütschke, 2011).

Plusieurs groupes citoyens contestataires se forment rapidement à l'annonce du projet et rejettent le CCS près de chez eux, mais aussi d'une manière plus générale. Les élus de tout bord politique prennent également position contre, parfois à l'encontre de la position officielle de leurs partis et plusieurs manifestations de contestations sont organisées. Parmi les arguments de la contestation figuraient les risques de fuites et les impacts négatifs de celles-ci sur le tourisme ou la qualité de l'eau souterraine. Le verrouillage de la production électrique à partir du charbon justifié par l'utilisation du CCS était également au centre des critiques¹⁵⁰. Devant ces mouvements citoyens et les difficultés du gouvernement allemand a transposé la directive européenne sur le CCS de 2009 (EU Directive 2009/31/EC) dans le Droit national tous les projets de stockage de carbone ont été suspendus *sine die* (Karohts, 2013).

Ce mauvais retour d'expérience de l'exploitant suédois motive les efforts importants de communication autour du captage de carbone à Stockholm Exergi comme le rappelle le directeur de communication :

About 10 or 15 years ago, Vattenfall had a project that they wanted to store a fossil gas from CCS in Berlin and there was some major protest from. we kind of realised this could be an issue because then it was they wanted to store the CO2 and the protests were so loud, so they went in another direction. So that was one of the drivers that we read and need to work with. [Directeur communication Stockholm Exergi, propos recueillis par F. Auclair, 2022]

Toutefois, les exemples presque concomitants et géographiquement très proches de Ketzin et Beeskow disculpent la technologie en elle-même pour accuser les modalités de déploiement. C'est pourquoi les acteurs à Stockholm sont attentifs à l'acceptabilité sociale et reconnaissent des différences avantageuses entre leur objectif et celui de Vattenfall à Beeskow. L'urgence climatique est aujourd'hui plus impérieuse qu'il y a dix ans justifiant considérablement le recours au stockage de carbone, la zone de stockage en elle-même sera en mer loin des habitations et enfin le type d'émissions captées sera biogénique et non fossile. Ce nouveau cadrage du CCS à travers le BECCS,

¹⁵⁰ Consulté sur le site du journal de Spiegel en 2022 : <https://www.spiegel.de/international/germany/not-under-my-backyard-one-german-town-s-fight-against-co2-capture-technology-a-710573.html>

perçu comme plus positif par les populations (Dütschke et al., 2016), nourrit l'optimisme des porteurs du projet sur le désamorçage des contestations.

But [the Vattenfall project] was before, you know, the real climate crisis was there and that was fossil CO2. So, it is different from our project. They said it's not dangerous, it's not going to be under Stockholm, it's proved and that it's safe and so on. [Directeur communication Stockholm Exergi, propos recueillis par F. Auclair, 2022]

I.2. Des débats passés sur la construction de la centrale à bioénergie

Avant même d'évoquer les problématiques du stockage du carbone, la construction de la centrale de bioénergie avait déjà éveillé des critiques. Alors que des milliers d'arbres sont abattus pour alimenter la centrale, la ville a tenu à conserver trois chênes pluri-centenaires aux abords du chantier, pour faciliter son implantation en répondant aux commentaires virulents adressés par la principale association environnementale locale : *Djurgården-Lilla Värtans Miljöskyddsförening* (ou association de protection de l'environnement de Djurgården-Lilla Värtans en français). Cette association est particulièrement active dans la zone de Djurgården-Lilla Värtans, c'est-à-dire entre le parc national de Stockholm, le Djurgården et le détroit de Lilla Värtan au bord duquel se trouve la centrale KVV8. Au moment de la construction, l'association avait publié un communiqué contestant le choix du lieu d'implantation fait pour des raisons économiques aux dépens de l'intégration physique dans une zone urbaine étroite et contraignante. Faisant appel aux recommandations de la régie municipale du logement, elle reprochait à la centrale de ne pas respecter la distance minimale d'éloignement des habitations de 1 km. L'association avait encore pointé du doigt le fait que les travaux venaient couper des passages empruntés par certains animaux et menaçait des chênes centenaires. S'étant déjà opposée avec plus ou moins de succès à des dizaines de projets de construction, l'association environnementale a réussi à influencer Stockholm Exergi dans la conservation des arbres et de certains passages¹⁵¹.

I.3. L'unité de captage : un défi pour l'acceptabilité sociale ?

Avec de telles précautions, cette usine est véritablement devenue le fer de lance du savoir-faire suédois en matière d'innovation technologique et d'intégration territoriale pour la transition. La conversion BECCS à un tel endroit aurait un retentissement médiatique prodigieux pour la technologie et surtout pour son acceptabilité sociale. Cependant, sa localisation si avantageuse pourrait bien compromettre son déploiement, car il faut, dans cet espace restreint, ajouter encore une installation industrielle qui s'annonce volumineuse.

¹⁵¹ Site Internet de l'association suédoise Djurgarden-Lilla Vartan : <https://www.dlv.se/>

Sur un schéma en 3D décrivant l'ensemble de l'installation BECCS et diffusé dans les communications promotionnelles de Stockholm Exergi et apparaissant même sur la notice de financement de l'European Innovation Fund, l'unité de captage semble en effet plus large et plus haute que l'unité de production.

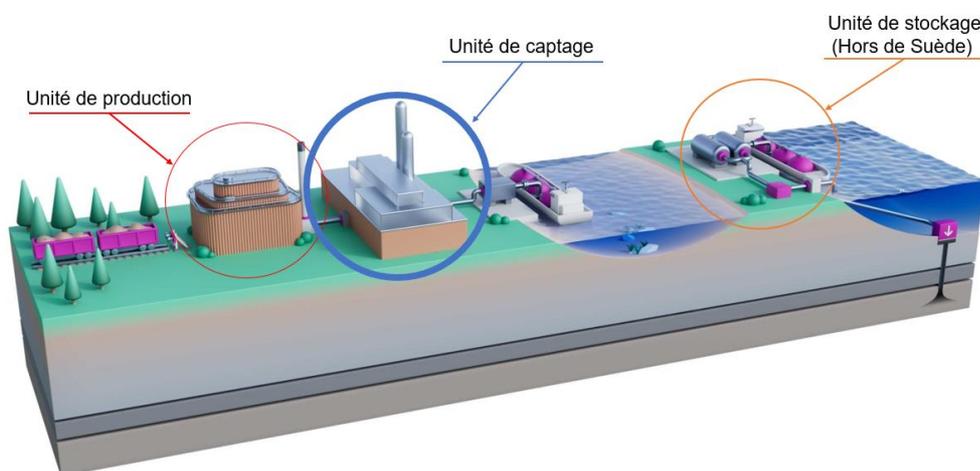


Figure 51 : Vue schématique de la chaîne de valeur du BECCS à Värtaverket KVV8 (source : Stockholm Exergi, 2022), libellée par F. Auclair

Dans une présentation officielle en 2022, le directeur du projet reconnaît la criticité de la surface nécessaire pour la construction de cette nouvelle infrastructure dans une zone très densément peuplée. De plus, l'harmonie architecturale de celle-ci avec le reste du quartier est aussi en jeu pour son acceptation. Or le procédé de captage HPC étant moins énergivore que le procédé par amines, il est beaucoup plus encombrant. Les colonnes d'absorption, les grands tubes dans lesquels le solvant HPC absorbe le carbone, sont qualifiées de faire une « largeur absurde » (Navedkhan et al., 2022) par les promoteurs.

Apparemment, l'unité de captage du carbone sera presque deux fois plus large que l'unité de production actuelle. Avec les contraintes en termes de surface au sol, d'impact sur l'environnement et de dérangement pour les riverains, il est fort probable que l'obtention du permis de construction ne soit pas qu'une simple formalité, mais plutôt une bataille juridique.

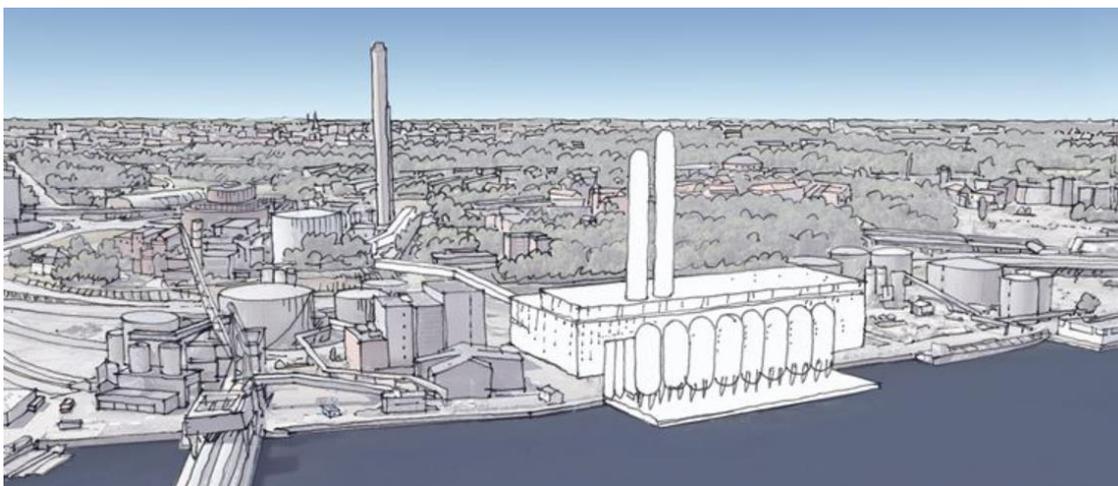


Figure 52: Vue d'artiste de l'unité de captage avec la centrale KVV8 dans le fond à gauche, Stockholm Exergi 2022

L'acceptabilité d'un tel bâtiment devient alors une question prioritaire pour les industriels et jette le doute sur la faisabilité du projet. La législation d'approbation des permis de construire en Suède donne beaucoup de pouvoir aux oppositions des riverains. Lors d'un entretien, un entrepreneur suédois spécialisé sur le BECCS a fait preuve d'un grand scepticisme sur l'autorisation de ce permis et par conséquent, sur la possibilité de construire l'unité de captage aux dimensions auxquelles elle est prévue. S'appuyant sur les conséquences de la controverse de la construction d'un tunnel à proximité du quartier de la centrale stockholmoise, il dresse une projection pessimiste de ce projet. En effet, cette voie souterraine a été l'objet de disputes entre différents groupes politiques suédois¹⁵² et surtout avec des riverains qui ont fait obstruction au projet pendant plus de dix ans. Les dimensions de l'usine seraient alors réhébilitaires pour les riverains, qui ne voudront pas « défigurer » leur quartier avec celle-ci.

If you look at the failed projects, I would say none of them failed because of technology, but all of them failed because of business case and in some cases because of permits. Stockholm Exergi, for example, is more or less downtown [and is likely to have permits concern]. I can give you an example. There was a tunnel in that exact same area. There was one person who objected to the permit. He overruled it. When they got the permit, they said no, I want to try this in the next legal instance and then when they said no, I want to try it again and again and again in new instances of the legal system so that for that tunnel to be completed that prolonged the product with 13 years. So then you can imagine what potential issues Stockholm Exergi might have when trying to set up a big project in that very same area. I don't know if that guy is still around, but he might be. [Entrepreneur BECCS, propos recueillis par F. Auclair, 2023]

¹⁵² Consulté sur le journal suédois TheLocal : <https://www.thelocal.se/20090903/21862>

L'interviewé fait ici référence à un contentieux entre la municipalité de Stockholm et l'association Djurgården-Lilla Värtan (DLV) événement qui a débuté en 2004 et a duré jusqu'en 2010. La ville de Stockholm contracte avec une compagnie électrique la construction d'un tunnel d'un kilomètre de long au Nord du parc naturel de Djurgården, qui d'après l'évaluation environnementale pourrait avoir des conséquences néfastes sur la circulation des eaux souterraines. Après un examen minutieux du rapport, la chambre environnementale du tribunal municipal de Stockholm accorde en 2006 l'autorisation de faire les travaux d'excavation. Immédiatement, l'association DLV fait appel de cette décision auprès de la cour d'appel de Svea, la plus grande des six cours d'appel de Suède qui est aussi la plus haute instance juridique du pays avant la Cour Suprême. Toutefois, cet appel a été rejeté, car selon le code environnemental suédois, une association ne peut recourir à cette instance que si elle compte au moins 2000 membres, ce qui n'était pas le cas de DLV. Refusant à nouveau cette décision, l'association environnementale porte leur contentieux devant la Cour Suprême de Suède. Trois questions auront été portées devant la Cour Suprême, une sur la nature des travaux souterrains et deux autres sur le droit que possédaient les petites associations environnementales locales et citoyennes à contester des décisions déjà adoptées par les porteurs des projets industriels alors qu'elles avaient le droit de participer au processus de prise de décision. Ces deux dernières questions portant atteinte à la convention d'Aarhus, sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, la Cour européenne de Justice a été sollicitée par les magistrats suédois pour s'assurer que les directives européennes étaient bien respectées dans le droit national. Le verdict rendu en 2009 de la Cour européenne de Justice est alors clair sur toutes les questions : les travaux souterrains ne sont pas autorisés dans les conditions dans lesquels ils ont prévu d'être menés, le nombre d'adhérents ne limite pas le droit d'une association à faire appel devant les plus hautes instances et enfin la participation du public en amont de la décision n'interdit pas au public de faire appel de la décision¹⁵³.

Le cas a eu un grand retentissement, car en plus de faire annuler les travaux après cinq ans d'attente, il ouvre une nouvelle ère dans la contestation environnementale en Suède. Certains observateurs décrivent la jurisprudence de cette décision comme un tournant dans la pratique de l'environnement par les associations en supprimant les limites du nombre d'adhésions et en facilitant l'accès au procès (Hedendo, 2019).

¹⁵³ Document 62008CJ0263, Judgment of the Court (Second Chamber) of 15 October 2009. *Djurgården-Lilla Värtans Miljöskyddsörening v Stockholms kommun genom dess marknämnd*. Reference for a preliminary ruling: *Högsta domstolen - Sweden*. Case C-263/08. *European Court Reports 2009 I-09967*

Visiblement, Stockholm Exergi connaît cette histoire et apprécie, de la même manière, la sensibilité des riverains puisqu'ils organisent leur stratégie de communication pour éviter un effet NIMBY potentiellement bloquant. Les campagnes de promotion se déclinent sur plusieurs niveaux. Le niveau local est celui sur lequel est portée la plus grande attention. Le département de communication de l'entreprise réalise des sondages d'opinion auprès du nombreux voisinage, quelque 22 000 foyers seraient concernés. De plus, des réunions d'information publique sont encore menées pour sensibiliser les habitants à la nécessité de cette technologie. L'arrivée du BECCS à Värtaverket est alors mise en récit de manière logique grâce d'une part à la présence de la centrale CHP pour la production de carbone et d'autre part la proximité du port pour l'exportation du carbone vers le réservoir de stockage offshore. L'évidence des conditions matérielles, associée à l'exemplarité écologique suédoise, est les principaux axes argumentaires pour convaincre les riverains.

We want to build this quite big plant here next to our KVV8 plant, and it's huge. We need also to get the acceptance here by the neighbours living next door to the new plant so we don't get this Not In My BackYard kind of discussion because we are located in the quite centre part of Stockholm. That's also one thing that we want people to understand because we need to have [the capture plant] here, because our KVV8 plant is here and that we've been working with communication and to the general public, big Stockholm, Sweden. So we have this [survey] right now in this big meeting [with] all the people living around and I think we went out to 22,000 households around in this area just to say that we're going to build this, now is the time to come with your opinions and we will continue with the comments for the environmental process that we are in right now. [Directeur de communication à Stockholm Exergi, propos recueillis par F. Auclair, 2022]

La localisation de la centrale est à double tranchant, car elle joue en faveur de sa visibilité pour attirer les financements, mais risque aussi de compliquer son implantation pour des raisons d'acceptabilité sociale. La perception de la qualité et la beauté de l'environnement urbain aux risques de supplanter la nécessité du BECCS aux yeux des Stockholmois, qui pourraient s'opposer à son déploiement.

II. *La difficile augmentation de l'échelle de production*

Au-delà des considérations esthétiques déjà déterminantes dans le cas d'une centrale dans un centre-ville historique, les risques sur la santé des personnes à cause d'une fuite de CO₂ ont le potentiel de cristalliser les oppositions. Bien que ce risque soit faible et bien maîtrisé par les concepteurs, sa perception publique serait encore plus bloquante que l'accident en lui-même. D'autant que ce danger est peu abordé par certains promoteurs qui ont tendance à le minimiser voire à le nier. C'est le cas de la directrice de l'association Klimpo de promotion du CCS, qui juge que le transport du CO₂ n'est pas risqué et qu'une fuite n'est pas si dangereuse puisque nous respirons déjà du CO₂.

Interviewer : I mean, the people could worry of any leaks in the pipeline.

Directrice Klimpo: Yeah, but you have pipelines all the way within like sewage. You have pipelines for district heating and they are also investigating pipelines for hydrogen. So still, why should they worry about like a gas that we have in the atmosphere that we are breathing in right now?[propos recueillis par F. Auclair, 2022]

Rappelons que même si le CO₂ n'est pas toxique en soi, c'est un agent asphyxiant dont le potentiel impact physiologique se révèle à faibles doses. En effet, l'association européenne des gaz industriels rappelle que dès 3 % de concentration dans l'air, le gaz carbonique entraîne des maux de tête, de la fatigue et des tachycardies, dès 5 %, c'est l'intoxication respiratoire¹⁵⁴, à 20 % c'est l'asphyxie immédiate (Witkowski et al., 2013). Par conséquent, selon son intensité, une fuite sera bénigne, dangereuse voire mortelle.

La distance très courte vers le port d'export du carbone de Stockholm Exergi, situé à quelques centaines de mètres du futur centre de captage, minimise grandement le risque d'un défaut. Pour cette raison, les controverses sur le transport sont négligées par les acteurs suédois, contrairement au cas anglais où le pipeline devra s'étendre sur quelques centaines de kilomètres. Dans le cas suédois, le danger pour la santé publique se trouverait non dans une fuite pendant le transport, mais dans une évacuation d'un des réservoirs de stockage portuaire du gaz carbonique liquéfié. Ces réservoirs servent de tampon entre la production de l'usine de captage et le remplissage du navire de transport. Le port étant au centre de Stockholm, une fuite de l'un de ces réservoirs déclencherait des conséquences catastrophiques (Navedkhan et al., 2022).

¹⁵⁴ European Industrial Gases Association, "Dangers Physiologiques du dioxyde de carbone, pas seulement un gaz asphyxiant », note de sécurité, AFGC EIGA 24-11

Tandis que la centrale de Värtan est épargnée par la problématique du transport terrestre du CO₂, celle-ci resurgit dès qu'il faut accroître la production d'émissions négatives. L'extensibilité des quantités de carbone stockées par Stockholm Exergi est aussi une des conditions d'obtention de l'*European Innovation Fund*. Pour augmenter la production, la société d'énergie envisageait en 2021 d'adapter sa centrale d'Högdalen, située à une vingtaine de km au sud de Värtan, avec un système de captage équivalent et de stocker dans le même réservoir géologique norvégien. Cette seconde centrale a une capacité de captage/stockage à peine inférieure à la première (700kTCO₂/an) et le considérable avantage d'être au milieu d'une zone industrielle en périphérie de la capitale, où les contraintes sur l'architecture de l'unité captage seront moins importantes. L'inconvénient se trouve être principalement dans le transport entre le lieu de production et le port d'export du carbone. Le port le plus proche étant celui de Värtan, ce n'est pas la distance qui pose problème, mais la nécessité de traverser presque complètement Stockholm du Sud vers le Nord, c'est-à-dire une zone très fortement urbanisée et déjà très contrainte.



Figure 53: à gauche, vue aérienne de la centrale d'Högdalen et à droite, distance entre le port et la centrale (photo : Stockholm Exergi)

Deux solutions existent, le transport par camion-citerne ou bien par pipeline. La première a l'avantage de ne pas nécessiter de travaux d'infrastructure complexe et coûteux au cœur d'une ville d'un million d'habitants et la seconde a l'avantage, une fois installée, de l'invisibilité et de la simplicité des transferts.

Le transport par camions, à propulsion électrique pour ne pas dégrader le bilan carbone du stockage, est une opération délicate, car la taille des citernes est limitée par les réglementations de la circulation en ville et oblige par conséquent à de fréquents aller-retour, augmentant d'autant le coût et le risque d'accident. Le transport par pipeline, quant à lui, pose le problème de la construction de l'infrastructure. La moitié de la longueur des tuyaux pourrait être logée dans des tunnels déjà

existants pour les télécommunications, ou les égouts, mais il reste encore à creuser des tranchées pour installer l'autre moitié. Plusieurs stations de recompressions seront également nécessaires pour éviter les pertes de débit. Les risques de fracture du pipeline et les conséquences néfastes que celles-ci pourraient avoir sur les santés publiques sont aussi à prendre en compte dans le choix du tracé, compliquant d'autant l'installation (Johansson et Petursdottir, 2021).

Malgré cela, l'option du pipeline semble être préférée par Stockholm Exergi tant pour assurer la continuité du transport que pour minimiser les risques d'accident. Elle est aussi la plus économique avec un coût estimé à 75 millions d'euros. Ce montant relativement faible devant le montant total de la conversion BECCS, dont l'unité de captage de carbone est le poste de dépense le plus important, éclipse la complexité de l'accroissement d'échelle de la production BECCS par Stockholm Exergi.

En effet, comme l'installation de l'unité de captage à Värtan est l'objet de mille précautions pour s'assurer de son acceptation publique, la pose de ce pipeline sera probablement au cœur d'une controverse juridique comme l'a été le tunnel de câble électrique décrit plus haut. Ainsi le montant de l'unité de captage à Högdalen approximativement identique à celle de Värtan et les potentielles contestations sur la pose du pipeline jettent le doute au mieux sur la vitesse et au pire sur la faisabilité même d'un accroissement d'échelle du dispositif de production d'émissions négatives stockholmois.

III. L'économie du BECCS dans l'alambic de Stockholm Exergi

Malgré les nombreuses projections, le coût du BECCS dépendant du captage du CO₂, lui-même dépendant du coût de l'énergie reste encore partiellement inconnu. Par conséquent, il est difficile d'estimer l'investissement nécessaire. Par exemple, le montant initial estimé par Stockholm Exergi dans leur candidature à l'EIF se base sur une tonne de CO₂ à 100 €, ce qui signifie 300 millions d'euros par an pour capter et stocker trois millions de tonnes par an. Cependant, les estimations considèrent qu'il s'agit d'un coût pondéré sur trente ans. Dans ces conditions, trente années d'exploitation coûteraient neuf milliards d'euros avec un pic d'investissement les premières années qui correspondraient à environ 30 % du coût total soit 2,7 milliards d'euros¹⁵⁵.

Le raisonnement postule au départ un coût du carbone à EUR 100 / tonnes, mais la sensibilité de ce prix est très grande. Une augmentation de EUR15 de la tonne de CO₂ augmenterait en retour l'investissement initial d'environ EUR300 millions soit près du double de la subvention de l'EIF. Parmi ces coûts initiaux est comprise la construction de 3 navires de transport spécialisés, dont le

¹⁵⁵ Implement Consulting Group, *The economic impact of BECCS in Sweden*, January 2022

prix unitaire est de 46 millions d'euros (Levihn et al., 2019). La création d'une flotte de transport serait donc de 138 millions d'euros, soit un peu moins que le montant de l'EIF. Ce soutien européen est nécessaire, mais au vu des chiffres annoncés, il financera seulement une petite part de l'installation.

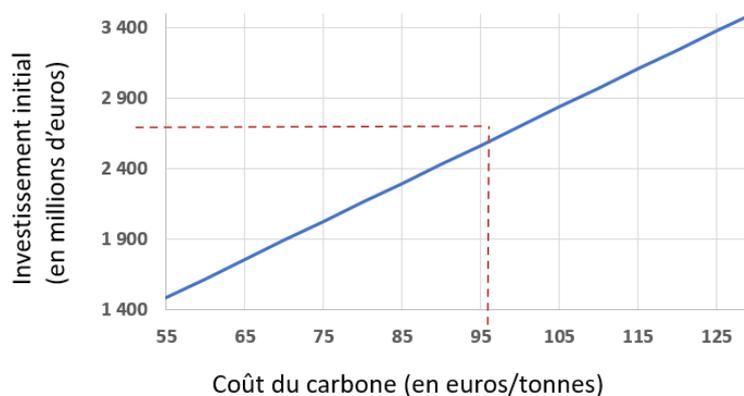


Figure 54: Sensibilité des estimations d'investissement du BECCS au coût de la tonne de carbone (Auclair, 2023)

Dans ces conditions, les aides financières sont vitales pour le déploiement de la technologie, mais bien insuffisantes. D'autant que ces aides s'adressent souvent seulement à l'investissement initial en supposant qu'une fois développée, l'innovation trouvera naturellement un marché. Ce n'est pas le cas du BECCS qui a des dépenses de fonctionnement élevées et aucun revenu à mettre en face. L'absence de marché du carbone est un des principaux freins au déploiement des technologies à émissions négatives. Comme le Royaume-Uni, le Royaume de Suède, en pionner européen, élabore un instrument de financement spécifique pour soutenir le BECCS tout au long de sa vie. Jusqu'à présent, peu de politiques publiques étaient dirigées directement en soutien du BECCS et en plus, d'avoir un business model fragile, les promoteurs de la technologie entraînent en compétition pour les subventions avec les autres technologies de décarbonation (Moe et Rottereng, 2018). Avec l'arrivée des enchères inversées, le BECCS et le CCS en général se voit attribuer un mécanisme de subvention dédié et exclusif.

III.1. Les enchères inversées – Le gouvernement suédois devient le marché du carbone

Dans des enchères classiques, un seul vendeur propose sa marchandise à plusieurs acheteurs qui débattent entre eux du prix d'achat à la hausse. Dans le cas des enchères inversées (*reverse auction*) comme son nom l'indique les rôles s'inversent. Un unique acheteur, le gouvernement suédois dans notre cas, annonce son intention d'acheter des tonnes d'émissions négatives à plusieurs vendeurs qui cherchent à proposer le prix d'achat le plus bas. Ce système, déjà utilisé dans les politiques publiques d'attribution des fréquences pour la téléphonie mobile, n'a encore jamais été mis en œuvre

en Suède et encore moins dans le financement d'une innovation. Ainsi la technologie proprement dite du BECCS en Suède ne sera pas la seule innovation, sa politique de soutien sera tout aussi innovante. Bien que le style politique suédois soit marqué par un interventionnisme fort de l'État dans les affaires économiques, le choix de cette subvention trouve une autre origine.

La stratégie politique nationale pour le climat promulgué en 2017 par le Parlement suédois stipule que la Suède s'engage à être neutre en carbone à l'horizon 2045. Les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites de 85 % par rapport à ce qu'elles étaient en 1990, suivant les accords de Paris. Avec les projections nationales, il y a inévitablement 10 millions de tonnes de CO₂ qui seront émis en trop à cause des secteurs « hard to abate ». Ces émissions inévitables devront être compensées par des émissions négatives faisant du CCS et du BECCS, une obligation nationale¹⁵⁶.

Le gouvernement, conscient de l'absence de marché pour ces technologies, a missionné l'Agence Suédoise de l'Énergie d'élaborer un mécanisme de financement public adapté. Soucieuse d'apporter une aide suffisante à l'industrie pour lui permettre de se développer tout en usant à bon escient des deniers publics, l'agence a cherché la solution la plus directe et la plus économiquement efficace. Une autre contrainte est venue encore s'ajouter. Un tarif de rachat unique fixé par l'État a été un moyen envisagé au début, car simple à appliquer, mais devant les règles de la Commission européenne, cette possibilité a été écartée. En effet, suite à certaine surcompensation de certaines compagnies d'énergies renouvelables par le passé, l'Union européenne a interdit ce type de pratique qui distorde le marché commun.

If you look at what the European Commission has said around in some cases, when it comes to state aid, it looks like that they are not in favor of a flat fee. In some countries where there's been a flat feed-in tariffs for, say, solar PV or something like that, some of these companies have been overcompensated for their costs. That is what the European Commission wants to avoid since state aid is in principle forbidden inside the European Union but there are some exemptions. The condition put by the Commission is that it shouldn't too much distorting the market. In principle that was the reason it is cost efficient there and that is the kind of support that is most likely to comply with the state aid rules. That was why we ended up with reverse auctions. [Senior Analyst from Swedish Energy Agency, propos recueillis par Auclair, 2022]

Le système d'enchères inversées limite la distorsion, car le prix d'achat varie en fonction de chaque compagnie. L'État achète les quantités d'émissions négatives dont il a besoin suivant la croissance

¹⁵⁶ Publication du Ministère de l'Ecologie suédois en 2021 :
<https://www.government.se/articles/2021/03/swedens-climate-policy-framework/>

du prix, c'est-à-dire que les tonnes de CO₂ vendues au prix le plus bas sont acquises en premier puis ensuite les tonnes un peu plus cher sont achetées jusqu'à ce que l'État remplisse la quantité nécessaire de carbone stockée pour se conformer à ses propres obligations légales.

Comme beaucoup de politiques publiques, celle-ci est le fruit d'un compromis entre plusieurs contraintes d'ordre technique, économique, légal et social. Dans notre cas, il est intéressant de relever que la hiérarchie du droit impose une limite qui dépasse le cadre de la nation. Les directives supranationales auxquelles la Suède, contrairement à l'Angleterre, est obligée de se conformer en qualité d'États membres de l'Union interviennent aussi dans la conception de cette mesure destinée au développement national d'une innovation.

L'Union intervient dans le déploiement du BECCS en Suède à la fois directement par le financement avec l'EIF du projet stockholmois et indirectement avec les directives sur la gestion nationale du marché commun. Ces 2 interventions favorisent le champion national Stockholm Exergi qui est en mesure grâce à la subvention européenne de proposer le prix de vente du CO₂ le plus bas.

III.2. Stockholm Exergi, des ventes certaines avec un business model solide ?

Comme toutes enchères, le système inversé est une compétition entre les participants, pas pour l'achat cette fois, mais pour la vente. C'est le vendeur qui propose le prix le plus bas pour la tonne de CO₂ stockée qui remporte le contrat. L'État s'engage pour quinze ans à racheter au prix fixé lors de la vente la quantité fixée, c'est une assurance de revenu sur de longs termes en mesure de rassurer et d'intéresser des investisseurs privés. Toutefois, les quantités dont l'État a besoin sont limitées et tous les vendeurs ne pourront pas faire financer leurs projets. Il y a donc un enjeu pour les porteurs de projets à se positionner avec un prix bas et un business model solide qui garantissent en retour l'approvisionnement des tonnes d'émissions négatives vendues.

Dans cette course, Stockholm Exergi est en bonne position grâce aux nombreux financements parallèles que la compagnie a su obtenir pour réaliser sa R&D et même une partie de son investissement initial avec respectivement le fonds national *Industrial Leap Fund* et le fond européen *European Innovation Fund*. Les canaux de subventions précédents leur donnent un net avantage pour bénéficier de cette nouvelle subvention.

If you get the Industrial fund like Stockholm Exergi and you get the innovation fund, you get 1.8 billion crowns, it's €180 million. But that is one part. Then when you participate in the reverse auctions, you have to do the lowest bid and so do Stockholm Exergi, who will be very beneficial [Directeur Klimpo, propos recueillis par F. Auclair, 2022]

D'après des informations non-enregistrées, Stockholm Exergi serait en mesure de proposer le prix de vente le plus bas à EUR80/tonne, bien en deçà des EUR100/tonne qui était le postulat de base pour l'investissement initial du dispositif donnée à l'EIF. En affinant en 2023 les calculs, la compagnie a pu obtenir des coûts inférieurs à EUR100/tonne dans toutes ses estimations.

Afin d'améliorer ses revenus, l'entreprise prévoit de vendre quand même une partie de son électricité et attend beaucoup du marché volontaire de carbone (Voluntary Carbon Market pour VCM en anglais). Les enchères inversées ne représentent qu'une partie des revenus des émissions négatives, nécessaire au lancement des opérations. Elles seront rapidement remplacées par les obligations de quotas (QO) pour la production de carbone, une autre mesure évoquée par le gouvernement suédois pour contraindre les sociétés polluantes à compenser leurs émissions. Enfin, Stockholm Exergi parie aussi sur l'essor du marché ETS européen dans lequel les tonnes d'émissions négatives seraient vendues à un meilleur prix. Un tel plan a pour objectif entre autres de rassurer l'acheteur sur la compétitivité de technologie vendue à KVV8.

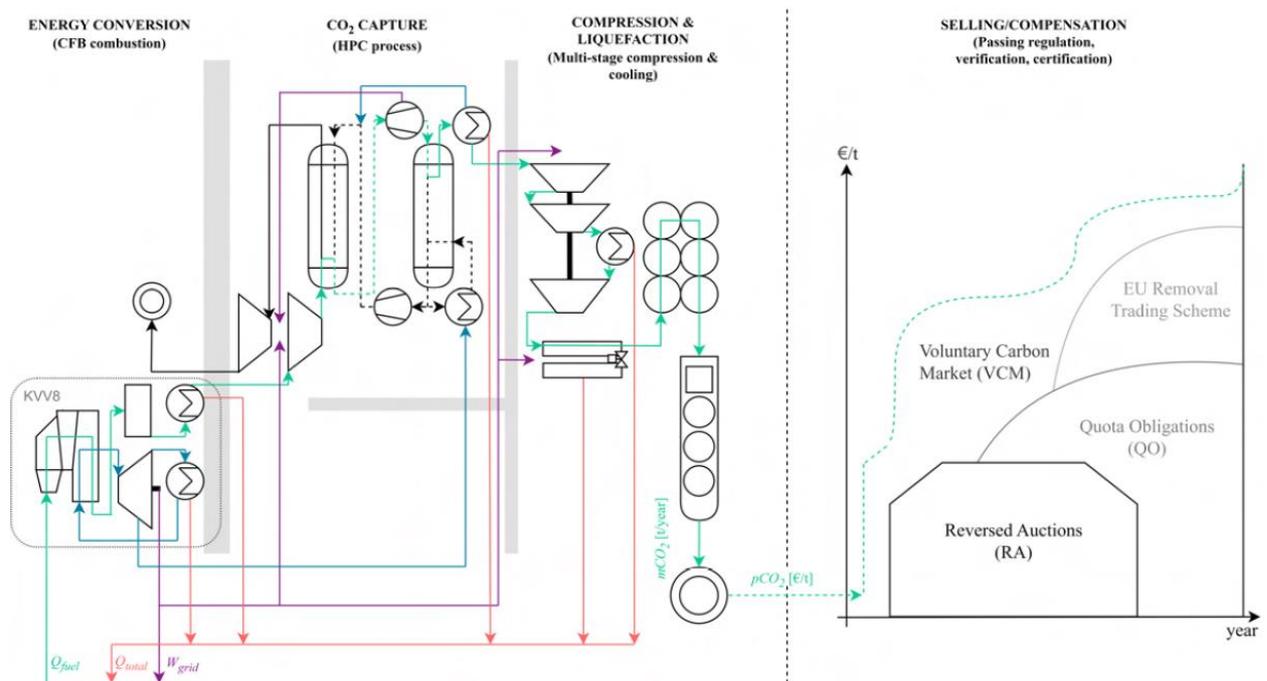


Figure 55 : À gauche, le processus de production à KVV8 (en vert les émissions négatives, en rouge la chaleur, en violet l'électricité) A droite, les types de flux de revenus pour les émissions négatives (O.Stenström, 2023)

Ainsi Stockholm Exergi peut à la fois proposer le prix le plus bas et garantir la pérennité de son fonctionnement après la fin de l'aide d'État. Le pari pour l'État semble donc assez peu risqué, ce qui n'est pas le cas pour la compagnie privée.

III.3. Les enchères inversées, une prison dorée pour le BECCS ?

Le premier risque pour le producteur d'émissions négatives est de conclure un contrat pour quinze ans avec l'État à un prix inférieur auquel il peut vendre ses émissions négatives à un autre acheteur dans quelques années. Les marchés volontaires de carbone, c'est-à-dire des places virtuelles sur lesquelles des sociétés souhaiteraient compenser leurs émissions pour des raisons d'images ou de conviction écologiques, se développent progressivement même si pour l'instant ils restent assez confidentiels. La possibilité qu'un acheteur intéressé et prêt à payer plus cher que l'État suédois apparaisse n'est pas très élevée, mais elle n'est pas nulle non plus. La compagnie qui vendrait alors toutes ses émissions à l'État se retrouverait sans rien à vendre à ce potentiel acheteur et verrait l'aubaine de meilleurs profits lui échapper.

De plus, le marché européen ETS qui a longtemps stagné à un niveau très bas semble finalement parti à la hausse avec un prix moyen sur les deux dernières années autour de EUR80/tonne et même un pic à EUR100/tonne le 24 février 2023. C'est une première depuis la création de ce marché. Les explications ne sont pas seulement conjoncturelles, mais aussi structurelles. En effet, la réforme menée en 2019 a renchéri la tonne et créé une réserve de stabilité, c'est-à-dire que les quotas ne seront plus réalloués, mais stockés. La suppression progressive des quotas gratuits d'émissions a aussi commencé. Leur disparition en 2034 laissera la place à un mécanisme d'ajustement des émissions aux frontières qui contraindra autant les exportateurs et les producteurs européens.

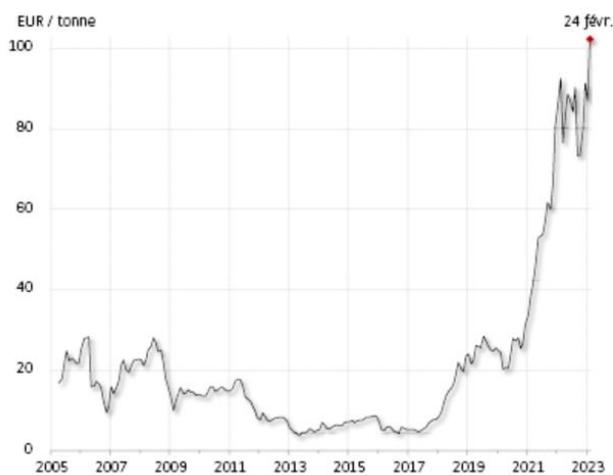


Figure 56: Évolution du prix de la tonne de carbone sur l'EU ETS de sa création à 2023 (Source : BNP Paribas)

Ces deux indicateurs risquent de dissuader les producteurs d'émissions négatives de vendre toute leur production à l'État dans l'espoir de trouver des clients plus offrants dans un futur proche. Toutefois, il s'agirait tout de même d'un pari alors que l'État offre une garantie plus sûre sur le long terme. Les arbitrages ne seront donc pas évidents et ce système d'enchères inversées pourrait ne pas

rencontrer le succès espéré comme le confirme la direction de la principale association de promotion du BECCS en Suède :

[With reverse auction], you will get paid for 15 years but then if you give the lowest bid, €80 per tonne, then maybe the negative emission certificate would be like €200 per tonne [in the future]. You don't know right now. If you look at Microsoft in Sweden and also there was some company in the U.S. Microsoft software have paid up to €1,000 per tonne for negative emissions. You don't know what the price is going to be if you compare it to EU ETS that is up to €100 right now per tonne. You can get the feeling of what is this going to be, I think that we will reach like €200 per tonne. That's not impossible. So if you sell it to the State for €80, you will lose! but then you will be safe also for 15 years. So it depends. [Directeur Klimpo, 2022, propos recueillis par F. Auclair]

Cet exemple souligne à nouveau l'importance de subventions ajustées pour garantir autant le déploiement que la compétitivité du BECCS. Il ne suffit pas de donner de l'argent, encore faut-il le donner de la bonne manière. L'attribution des subventions à ce type de technologie suscite dans les deux pays des polémiques, mais celles-ci ne sont pas de même nature. En Suède, le soutien au BECCS par de l'argent public ne rencontre pas vraiment d'opposition publique, mais la controverse reste confinée à des cercles experts. Dans ces arènes, c'est surtout la forme de cette subvention qui éveille la colère de certains porteurs de projet.

Les enchères inversées sont considérées comme injustes et incertaines. Injustes, car celles-ci favorisent les acteurs qui produisent au prix le plus bas sans considération pour les moyens qui le leur permettent comme l'obtention de subventions publiques. Incertaines, car les vendeurs pour proposer leurs prix et leurs quantités doivent investir au moins partiellement dans la technologie sans être sûrs d'être sélectionnés par l'acheteur. Certains porteurs de projet préfèrent avoir des aides sous forme de crédits d'impôt que des enchères inversées.

I think the reverse auction is hurting BECCS [deployment] because Stockholm Exergi makes a gift. For example, this is public information they have received 180 million euros from the EU Innovation fund. They have that money that's sort of just given to them and then you ask them and you ask other competitors who not receive that kind of money to provide a quote for and to bet for the lowest price. Actually to do this, a company with that kind of financial muscles is in much better position to win that kind of reverse auction than the other ones. So in that perspective the IRA system that they have in the US and the tax credit is much more effective. It's much easier to build a business case on something like that. I don't know how they expect the reverse auctions to work because you should build different plants, build the

business case and invest a lot of money and then without really just knowing that well, we may win, or maybe not win and then competing with Stockholm Exergi for example. So As for a system, I'm not super excited about the reverse auctions. I would rather see a different system in Sweden. [Entrepreneur BECCS anonyme, 2023, propos recueillis par F.Auclair]

Bien qu'aucun public ne se soit encore mobilisé contre le BECCS en Suède, certaines controverses commencent déjà apparaître et pas seulement dans les cercles d'experts.

IV. Les oppositions de principe au BECCS en Suède

L'absence de mobilisation publique peut s'expliquer par le fait que les deux sujets habituellement controversés dans ce type de technologie sont plus facilement acceptables dans les modalités de déploiement suédoises. D'une part, le stockage de CO₂ est externalisé et d'autre part, l'approvisionnement en biomasse sera principalement en local et l'exploitation se fera à une échelle plus petite que celle à laquelle elle est déjà pratiquée aujourd'hui. Le terrain semble donc plus favorable à l'émergence du BECCS et pourtant des critiques sur l'utilité et la faisabilité de ce type de technologie sont déjà émises par plusieurs associations à différents niveaux.

Plusieurs associations critiquent le principe et la réalité du BECCS à travers le monde, mais leurs arguments souvent se ressemblent alors pour simplifier ce tour d'horizon des oppositions, nous avons choisi trois associations représentatives de différents niveaux d'action. Ces trois groupes ont été sélectionnés, car ils agissent et ont principalement une influence en Suède même si leurs actions peuvent s'étendre également à d'autres pays européens. Leurs niveaux d'action sont décroissants, mais imbriqués, c'est-à-dire que la première association a une influence supranationale, la seconde rayonne sur le pays et enfin la troisième a une action très localisée dans un quartier de Stockholm.

IV.1. Les trois niveaux d'action des contestations – Global, national, local

Au niveau européen, l'ONG Fern, qui suit le développement de la foresterie et milite pour une gestion plus durable et raisonnée des forêts européennes, agit principalement auprès des instances européennes. Dans une publication officielle de mars 2022 intitulée « Six problems with BECCS », l'organisation non-gouvernementale critique la capacité de la technologie à réellement produire des émissions négatives, l'exploitation des forêts que nécessiterait l'approvisionnement en biomasse et le coût économique et environnemental. En comparant les chiffres des émissions négatives indiquées dans les modèles climatiques avec les quantités de bois nécessaires, Fern considère qu'il faudrait plus que toute la surface de l'Inde en surface forestière pour alimenter seulement les BECCS si la gestion des forêts était durable et respectueuse de l'environnement. Face à l'impossibilité de

cette mesure, l'association va jusqu'à nommer le BECCS de « chimère tentatrice » pour souligner l'impossible existence d'une telle technologie malgré l'aspect attractif de l'absorption des gaz à effet de serre. Le postulat de base de la neutralité carbone de la biomasse brûlée est sérieusement questionné, car pour que ce soit le cas des conditions strictes sur la temporalité de l'exploitation forestière sont à respecter. Selon le type de résidus utilisé, le bilan carbone peut être plus ou moins négatif, mais le type de résidu avec une temporalité courte comme les déchets de la transformation primaire du bois (copeaux et sciure de scierie) sont déjà assez rares. D'autant que la hausse des prix des autres types d'énergie incite les consommateurs à se reporter sur les combustibles bois augmentant encore la rareté de ces produits.

Une des hypothèses essentielles du BECCS, c'est qu'il est capable de délivrer des émotions négatives parce que la biomasse serait une source d'émission neutre en carbone, Ce n'est pas impossible, mais il y a des conditions très, très strictes pour que ceci soit possible. D'abord, ce ne sera jamais neutre, ce sera positif. Mais la question principale, c'est la question de la dette carbone. Est-ce que le carbone se compte en mois ou en années ou est ce qu'on est en décennies ou en siècles ? Si vous utilisez des résidus de transformation du bois d'œuvre type sciure ou autre, vous avez un contre factuel qui s'exprime en années. En gros en 3 à 4 ans, vous avez équilibré votre bilan carbone et donc si on est dans une sorte dans un scénario de remplacement du gaz ou du charbon par exemple, là on est sur quelque chose qui a un intérêt climatique. Le problème, c'est qu'on est sur une ressource qui est extrêmement limitée et que les incitations de marché font qu'on ne peut plus utiliser les résidus parce que visiblement le marché devient trop gros. [Responsable Fern, propos recueillis par F. Auclair, 2023]

Les centrales thermiques doivent s'approvisionner en permanence pour fonctionner or le marché fournit difficilement assez de combustible-bois avec des résidus. La pression de l'approvisionnement couplé aux capacités du marché rend peu probable la possibilité d'avoir une production d'émissions négative réellement vertueuse pour le climat et l'environnement. Les producteurs de bois pour répondre à la demande sont obligés de transformer du bois qui ne vient pas des résidus de scierie et vont jusqu'à recourir des forêts primaires, encore inexploitées, au Nord. En effet, les forêts suédoises exploitables même si elles sont nombreuses ne poussent pas assez vite pour remplir les fourneaux des centrales. Cette extension de l'exploitation est contestée par les Lapons, ces peuplades autochtones de Scandinavie, qui ont aussi besoin de la forêt pour assurer leur subsistance. Dans ce cas, la question de la conservation de la biodiversité de ces régions boréales

est soulevée en même temps que celle de la justice sociale de la transition énergétique. C'est sur ce dernier point que les Lapons entrent en conflit avec l'exploitation forestière¹⁵⁷.

Après, ça représente beaucoup, en sachant quand même que c'est très particulier parce qu'on est sur un pays [la Suède] qui a essentiellement remplacé ses forêts pour faire de la monoculture. Il y a encore des forêts diversifiées des forêts primaires dans le Grand Nord, mais elles sont en territoire lapon et ça pose de très gros problèmes d'ailleurs parce qu'en fait ils ont trop coupé en Suède et donc on est très au nord et ça pousse très lentement. Pour l'instant, la moyenne d'âge des plantations, je crois qu'elle est autour de 40-50 ans. Et c'est trop tôt, il faut encore attendre au moins 20, 25, 30 ans pour pouvoir les couper. Et là, ils en ont plein. Mais d'ici là, ce n'est pas intéressant en fait. Alors le risque, c'est quand ils font énormément et trop. D'ailleurs, d'après des universitaires avec qui j'ai discuté de la question en Suède, ils font beaucoup de ce qu'on appelle des coupes d'éclaircies. Et puis, comme ils ont quand même besoin de bois, il importe pas mal et puis ils vont couper les dernières forêts primaires au nord et ça met en situation de conflit direct avec les Lapons. [Responsable Fern, propos recueillis par F. Auclair, 2023]

Au niveau national, la Société Suédoise pour la Conservation de la Nature (Swedish Society for Nature Conservation) qui entretient des liens étroits avec l'association précédente comme nous l'a dit l'interviewé de Fern et qui est inscrit sur sa liste des donateurs. Dans un avis publié en suédois sur leur site internet le 17 février 2022, la société explique de manière didactique le fonctionnement du CCS et du BECCS ainsi que l'état des lieux de la technologie dans le monde. Après, elle dresse le bilan des avantages et inconvénients. Le ton général n'est pas positif, car le seul argument en faveur du CCS est l'inévitable dépendance de l'économie mondiale aux énergies fossiles. Ainsi étant incapable d'éviter de faire fonctionner certaines industries sans émettre des émissions de carbone, le CCS apparaît comme un investissement alternatif aux énergies renouvelables ou à des technologies non-émettrices. Mais dans leur publication cet argument devient le principal inconvénient, car il « réduirait le désir d'investir dans les énergies renouvelables ». Les risques de fuites dans le stockage, d'émissions de produits toxiques lors du captage ou la compétition avec les terres agricoles pour l'approvisionnement sont aussi mentionnés. Enfin, la conclusion de la société

¹⁵⁷ Hivert, Anne-Françoise, « En Suède, l'exploitation intensive des forêts remise en question », Le Monde, 3 janvier 2023

est clairement négative contre le déploiement de cette technologie même si une nuance est apportée sur les conditions dans lesquelles celui-ci devrait être déployé, si c'était inévitable¹⁵⁸.

Le CCS sur les énergies fossiles risque de retarder la transition nécessaire vers un système d'énergie entièrement renouvelable, et un investissement dans ce domaine ne devrait pas avoir lieu. [...] Le CCS sur les centrales à émissions biogéniques (BECCS) peut être considéré comme une partie de la solution pour réduire la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, à condition qu'il soit appliqué à des centrales déjà existantes, que la biomasse brûlée soit durable et que l'extraction de la biomasse n'augmente pas. La recherche et le développement sont nécessaires sur la manière dont le CCS et le BECCS peuvent être appliqués sans entrer en conflit avec d'autres objectifs de durabilité. [...] Toute la chaîne du captage au stockage doit être surveillée et toute fuite doit faire l'objet d'une taxe carbone complète et de pénalités pour l'émetteur. [Conclusion de l'avis de la Société Suédoise pour la Conservation de la Nature, 17 février 2022, traduction par F. Auclair]

Au niveau local, l'association Djurgården-Lilla Värtans, dont quelques membres ont assisté à la réunion d'information sur le BECCS organisée par Stockholm Exergi le 8 septembre 2022, a publié un avis autant sur la forme de la réunion que sur la technologie elle-même. Pour eux, la séance de questions aux experts de la compagnie était trop courte pour être véritablement fructueuse, surtout que certains experts ont évité ou reporté des interrogations du public. Ils critiquent aussi la véracité du postulat que la combustion de biomasse serait neutre en carbone. Si c'était le cas alors les mégafeux de forêts seraient inoffensifs pour le climat tout comme les biocarburants. De plus, les différences d'informations entre les sources sur la quantité d'émissions ou sur l'origine de la biomasse, qui serait à 40 % importée, mettent en doute la crédibilité de l'opérateur aux yeux de l'association.

Les émissions de CO² biogénique ne sont pas climatiquement neutres en elles-mêmes, mais supposent au moins qu'aucune émission fossile ne soit émise en même temps et que les émissions biogéniques ne dépassent pas la capacité d'absorption photosynthétique de la planète. Des analyses plus précises doivent aussi être menées sur la circulation du carbone aux différentes étapes de l'exploitation forestière et sur le potentiel appauvrissement des sols lors de celle-ci. Ainsi l'argument selon lequel des émissions négatives peuvent être produites en capturant le CO₂ biogénique tombe à plat. [Extrait de l'avis de DLV, 29 septembre 2022, traduction par F. Auclair]

¹⁵⁸ Publication de l'association The Swedish Society for Nature Conservation sur le CCS : <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/ccs-infangning-och-lagring-av-koldioxid/>

Enfin, dressant un parallèle avec l'enfouissement des déchets nucléaires, la permanence du stockage géologique est aussi mise en question. En conclusion de cet avis, DLV préfère la rénovation énergétique et la sobriété plutôt que le captage et le stockage du CO² biogénique¹⁵⁹.

IV.2. Bilan des oppositions – divergences et rassemblements

Les associations environnementales suédoises et européennes sont donc déjà sensibilisées et informées de la question du BECCS. Leurs contestations ne portent pas sur un syndrome NIMBY comme peuvent le craindre les porteurs de projet à Stockholm Exergi. Elles s'opposent plutôt aux principes pour lesquels cette technologie se construit, c'est-à-dire sa capacité à créer des émissions négatives et donc à être une véritable solution dans la lutte contre le réchauffement climatique. Comme il n'y a pas encore de permis de construire déposé pour l'unité de captage, aucune mobilisation ne peut se cristalliser sur un projet concret. La contestation s'adapte au niveau d'émergence du BECCS et ne peut se faire pour l'instant que sur le principe de la technologie et non sur son implantation territoriale.

L'argument qui traverse les 3 niveaux de mobilisation est bien celui qui remet en question la possibilité de produire des émissions réellement négatives. Mettant en doute le postulat selon lequel la combustion de la biomasse serait neutre en carbone, les associations jugent que ce ne pas faisable ou à un coût qui ne serait pas bénéfique à une véritable transition.

Le sujet de l'approvisionnement en biomasse et surtout d'un approvisionnement juste et durable, qui n'entre pas en compétition avec les territoires des peuplades autochtones ou de la production alimentaire est encore un élément partagé par les 3 associations.

La justice sociale de la transition n'est abordée que par l'organisation européenne. Cela peut s'expliquer par la nature supranationale de FERN puisque les droits des peuples autochtones sont une des résolutions majeures de la Commission européenne et que le territoire du peuple lapon s'étend sur 4 pays : la Norvège, la Finlande, la Suède et la Russie. Par conséquent, seule une association transnationale peut être en mesure de se saisir efficacement de ce problème.

Les deux associations nationale et locale insistent quant à elles sur fait que le BECCS risque de détourner l'attention et les efforts d'autres solutions qu'ils jugent plus pertinentes dans la lutte contre le réchauffement climatique. L'association suédoise pour la conservation de la nature préférerait voir des investissements dans les énergies renouvelables et l'association DLV appelle de ses vœux la rénovation énergétique des bâtiments.

¹⁵⁹ Bjorn Gustaffson, *Opinion sur la candidature de Stockholm Exergi pour une installation de bioCCS à Vartäverket*, 29 septembre 2022, association de protection de l'environnement de Djurgården-Lilla Värtans

Conclusion : des promoteurs craintifs et des opposants discrets

Bien que le développement de l'amont de la chaîne de valeur n'éveille pas de débat en Suède les oppositions sont bien présentes tant aux niveaux européens que nationale et locale. Pour l'instant, limitées par le niveau d'intégration territoriale de la technologie, elles se focalisent sur la contestation des principes du BECCS, notamment celui de la capacité à produire réellement des émissions négatives. Il est fort probable que lorsqu'un permis de construire sera déposé, celles-ci se feront plus bloquantes comme le craignent de nombreux acteurs industriels.

En attendant, les promoteurs, focalisés sur un imaginaire effet NIMBY, structurent leur projet et leur communication pour convaincre le voisinage de l'intérêt de leur technologie ici à Stockholm. Manquant les enjeux principaux de légitimité de leur filière, ils se concentrent sur les modalités économiques ou technologiques d'implantation. Ces éléments seront les points d'achoppement qui permettront des recours en justice de la part des opposants, mais ce ne seront pas les motivations principales de ces derniers.

La fragile légitimité de la filière suscite déjà des critiques auprès d'associations à tous les niveaux. Ces interrogations sont partagées par les associations que nous avons rencontrées en Angleterre. Elles sont donc globales et la Suède malgré une partie amont parfaitement développée puissent échapper à ces controverses. Le projet politique de transition que soutient le BECCS a donc encore besoin d'être redéfini avant même de s'occuper des considérations de déploiement des projets.

Cinquième Chapitre

L'Angleterre et la Suède face à face

À travers les contextes, la carte des acceptabilités

Introduction : des terrains parfaitement complémentaires

Nos deux enquêtes de terrain étant désormais achevées, nous pouvons dresser le bilan de leurs différences et similitudes. En appliquant minutieusement notre grille d'analyse des contextes à l'Angleterre et à la Suède, il sera plus facile de repérer les éléments qui forment la trajectoire de développement du BECCS dans ces deux pays. Le récit des enquêtes illustre déjà des variations dans les trajectoires nationales, mais aussi des ressemblances. Nous pourrions attribuer les premières aux particularités des pays alors que les dernières seront plus vraisemblablement propres à la technologie.

Comme nous l'avons déjà entrevu et que nous le confirmons dans ce chapitre, les contextes d'émergence anglais et suédois ont ceci de notable qu'ils sont parfaitement complémentaires. L'Angleterre dispose d'un avantage sur la partie aval de la chaîne de valeur du BECCS alors que la Suède a déjà développé la partie amont. En plus d'une répartition équilibrée sur la chaîne de valeur, les modalités politiques se complètent également. Le seul échelon politique impliqué dans le déploiement au Royaume-Uni est l'échelon national alors qu'en Suède, l'échelon local est celui qui a l'initiative avec le soutien de l'État.

Ce chapitre sera ainsi organisé de manière à démontrer dans une première partie, les facteurs saillants du passé qui ont modelé les contextes nationaux actuels et comment ceux-ci tracent une dépendance au sentier tenace dans l'apparition du BECCS. En effet, malgré des changements récents que nous expliciterons, les déterminants principaux des trajectoires d'innovation prennent racine dans des événements du siècle précédent. Dans une seconde partie, nous établirons une cartographie des débats sur le BECCS pour séparer les acceptabilités propres à la technologie de celles qui sont dépendantes d'un contexte particulier. Enfin, dans la troisième partie, nous placerons des liens de causalité ou de corrélations entre les contextes et leurs acceptabilités afin d'éclairer l'influence des premiers sur ces dernières.

I. Dépendances au sentier et comparaison des contextes nationaux

I.1. La dépendance au sentier

Un premier élément remarquable dans nos deux terrains est la dépendance au sentier. C'est-à-dire que les choix techno-politiques actuels s'appuient sur les conséquences des décisions passées. Ainsi en reprenant la grille développée dans notre troisième chapitre (en rappel ci-dessous), nous allons brosser les éléments de ces six catégories qui sont antécédents au projet de développement du BECCS dans nos deux cas d'étude.

Tableau 9 : Grille d'analyse du contexte à partir d'Evrard (2017), Auclair 2023

Contexte socio-technique d'intégration du BECCS					
Matérialité	Configuration d'acteurs	Style politique	Représentations collectives	Forme du soutien public	Internalisation des facteurs exogènes

I.2. Les ancrages matériels, verrous physiques pour le futur

En commençant du point de vue de la matérialité, c'est-à-dire de l'ensemble des infrastructures présentes et des ressources disponibles pour le déploiement du BECCS, nous notons la ressemblance la plus évidente. Dans les deux pays, la technologie s'implante sur des centrales énergétiques déjà existantes. Il n'y a pas de construction d'une nouvelle centrale spécialement conçue pour le BECCS. Dans les deux cas, cette technologie est une transformation de l'existant et non une création nouvelle. Ce schéma de développement est représentatif de la vision du BECCS tant par les promoteurs, qui y voient un moyen de décarboner ou compenser les émissions de l'activité économique, que par les opposants qui critiquent une prolongation d'un système de production énergétique néfaste à l'environnement.

Pour nos projets anglais et suédois, les similitudes s'arrêtent là.

Les dates de construction, d'abord, changent. Drax fut terminée en 1986 alors que KVV8 en 2016. Nous imaginons bien qu'en trois décennies, la conception de la centrale suédoise a bénéficié de nombreux progrès techniques qui n'existaient pas pour son homologue britannique. Même si nous n'avons pas réussi à trouver les chiffres des rendements énergétiques de chaque centrale, il est fort probable que ceux de KVV8 soient supérieurs à ceux de Drax.

Les dimensions et le type des installations de production énergétiques sont encore largement différents. Drax dispose de six fourneaux chacun d'une puissance de 660 MW alors que KVV8 n'en a qu'un seul d'une capacité de 345 MW. Il en résulte une quantité d'énergie produite très différente puisque Drax produit annuellement 24 TWh d'électricité alors que KVV8 peut vendre 2,4 TWh d'énergie, électricité et chaleur confondues. Au-delà de ces écarts numériques, le type de production varie également, car la centrale britannique vend exclusivement de l'électricité alors que celle de Suède propose à 70 % de la chaleur et à 30 % de l'électricité. En plus d'un changement d'échelle, la nature même de l'énergie produite impose un changement des business-models et des équipements techniques d'une centrale à l'autre.

La différence géographique même implique que les centrales ne sont pas placées dans des environnements identiques, mais il convient de s'arrêter sur la nature de l'emplacement de chacune, car celui-ci jouera un rôle prépondérant dans les enjeux d'acceptabilité. Drax se trouve en milieu très rural. Les villages les plus proches de quelques centaines d'habitants sont éloignés de plus d'un kilomètre et pour trouver une ville qui dépasse 10 000 habitants, il faut parcourir presque 10 kilomètres. À l'instar de l'installation anglaise qui n'a pas de voisinage proche, KVV8 est au cœur de la capitale suédois et a par conséquent de très nombreux riverains, très proches. Les premiers immeubles résidentiels sont à moins de 100 mètres du fourneau. Une école d'art, une maison de santé, des courts de tennis et un magasin discount bordent même directement la clôture de la centrale. Cette proximité de population rend beaucoup plus sensibles les risques d'accident et les transformations de la centrale. Pour cette raison et aussi pour le décalage temporel entre les deux chantiers, la centrale KVV8 a un design plus innovant avec une grande partie des installations d'approvisionnement en souterrain pour minimiser les nuisances et le fourneau même repose dans un sous-sol plutôt que directement sur la surface du sol.

Enfin, un des points de différence de matérialité les plus saillants au regard des controverses que suscite le BECCS est celui des sources de la biomasse. Les forêts britanniques (25 200 km²) étant bien moins vastes que celles de Suède (371 000 km²)¹⁶⁰, la direction de Drax est contrainte d'importer 100 % des pellets de bois depuis l'Amérique du Nord. À l'inverse, la station de chaleur suédoise achète 60 % de ses pellets à des forestiers nationaux et en importe 40 % depuis la région de la Baltique ou alentour (Norvège, Russie, Finlande). N'ayant pas à faire traverser l'océan Atlantique à son combustible, le modèle de ravitaillement de la Suède fait plus de sens autant pour le bilan écologique que pour la sécurité d'approvisionnement.

¹⁶⁰ Factbook- Statistiques générales entre la Suède et le Royaume-Uni

<https://www.indexmundi.com/factbook/compare/united-kingdom.sweden>

Tableau 10 : Différences de matérialité entre les cas anglais et suédois, Auclair 2023

Âge des centrales	Dimensions de celles-ci	Emplacement de la centrale	Conception	Sources de la biomasse	Production énergétique
La centrale suédoise a été construite 30 ans après son homologue anglais	La centrale anglaise est 10 fois plus puissante que celle suédoise	Drax est installée en milieu très rural alors que KVV8 est au cœur de la ville	La conception de Drax est plutôt classique alors que celle de KVV8 est innovante et unique	Drax importe 100 % des pellets outre-Atlantique tandis que KVV8 a 60 % de local et 40 % régional	La production de Drax est 100 % électrique. Celle de KVV8 est de 70 % de chaleur et de 30 % d'électricité.

I.3. Les acteurs impliqués, guides des trajectoires de développements

La matérialité ne développe pas seule une technologie et ce sont d'abord des acteurs humains qui la portent. Les profils, les compétences, et les relations entre les acteurs font partie de ce que nous appelons la configuration des acteurs. Entre nos terrains d'étude, ces configurations sont très particulières à leur pays et au type de technologie développée. Dans le cas du BECCS dont la chaîne de valeur requiert des compétences très différentes depuis l'approvisionnement en biomasse qui est une affaire de forestier jusqu'aux mesures de l'injection souterraine de carbone aux mains des géophysiciens en passant par le captage du CO₂, spécialité des chimistes, les possibilités d'arrangements sont multiples.

Les profils des porteurs de projets d'abord sont diamétralement opposés. Depuis la privatisation de 1989, la compagnie exploitant la centrale de Drax a toujours été intégralement privée. Le premier propriétaire National Power, une société britannique l'a vendu à AES Corporation, une société américaine en 1999. Suite à la banqueroute de 2003, la centrale est réquisitionnée par un consortium de banques privées avant d'être récupérée par son équipe de direction en 2005. La négociation de cette reprise a été possible à condition d'introduire la compagnie à la Bourse de Londres. Drax Group PLC, i.e. le nom officiel de la compagnie, est donc une compagnie 100 % privée cotée à la bourse de Londres avec un actionnariat très fragmentée puisque l'actionnaire détenant le plus de parts, un fonds de pension américain, n'en détient que 5,7 %¹⁶¹.

À l'inverse, Stockholm Exergi depuis sa création en 2002 est une joint-venture paritaire entre la compagnie privée finlandaise Fortum et la municipalité de Stockholm. Détenu à 50 % par un acteur privé et à 50 % par un acteur public, la société de production de chaleur urbaine agit en fonds propres

¹⁶¹ Consulté sur le site d'information boursière ZoneBourse en 2023 :

<https://www.zonebourse.com/cours/action/DRAX-GROUP-PLC-4006894/societe/>

et n'est pas cotée en Bourse. Notons quand même qu'en 2021, Fortum a vendu l'intégralité de ses parts à un consortium d'acteurs financiers¹⁶² sans que cela ne change vraiment le profil de Stockholm Exergi.

Ainsi, Drax est particulièrement sensible au montant de son profit du fait de ses obligations vis-à-vis de ses actionnaires. Maintenir son attractivité d'investissement grâce à une bonne rentabilité est pour cette compagnie la première de ses priorités alors que Stockholm Exergi n'est obligée par aucun actionnaire. Possédée à 50 % par la municipalité, la compagnie suédoise s'apparente plus à une sorte de service public. Même si des exigences de rentabilité sont aussi nécessaires, celles-ci sont moins prégnantes. La réputation comme les stratégies des acteurs sont impactées par ces configurations de propriété.

En plus d'un régime de propriété divergeant, les compétences et cultures d'entreprise des porteurs de projet ne sont pas complètement identiques. Avant la cession de ses parts, Fortum, un énergéticien spécialisé dans le renouvelable et le nucléaire, a marqué de son empreinte et sa *petite sœur* Stockholm Exergi. Dès les années 1980, la société entame la conversion de ses fourneaux à la biomasse et continuera dans les années suivantes pour éviter la taxe de 1991 sur les produits fossiles. Les collaborateurs d'aujourd'hui n'ont dès lors pas développé d'expérience dans la production d'énergie à partir de carburant fossile. Leur cœur de métier est resté vierge de toute exploitation de charbon ou d'hydrocarbures.

C'est exactement le contraire pour Drax dont la construction répond à l'opportunité d'écouler la production d'une mine de charbon découverte à proximité. De plus, l'entreprise britannique a utilisé du charbon bien plus longtemps puisqu'elle n'a commencé à s'en débarrasser progressivement qu'à partir de 2012. Elle utilise même encore périodiquement de façon marginale quand le réseau britannique a besoin d'un surplus d'électricité comme pendant l'hiver 2022. Sa culture d'entreprise comme les compétences de ses experts sont très fortement imprégnées par l'exploitation du charbon.

Du côté des fournisseurs de biomasse, la configuration anglaise est monopolistique et intégrée alors que pour Stockholm Exergi l'approvisionnement est sous-traité et fragmenté entre plusieurs marchands. Faisant de la diversité de ses fournisseurs une stratégie commerciale, la compagnie suédoise a même rejoint en 2021 la plateforme de trading de biomasse des pays de la Baltique : *Baltpool*¹⁶³. Le marché forestier suédois, qui pourvoit à 60 % des besoins de KVV8, est déjà très fractionné entre plusieurs propriétaires privés comme nous l'avons vu dans le chapitre 5. L'objectif

¹⁶² Consulté sur le site de l'entreprise Fortum en 2023 : <https://www.fortum.com/media/2021/09/fortum-concludes-sale-its-50-stake-stockholm-exergi>

¹⁶³ Consulté sur le site BioEnergy International en 2023 : <https://bioenergyinternational.com/stockholm-exergi-becomes-first-swedish-member-of-baltpool/>

de rejoindre Baltpool était de mettre la compagnie en position de contacter plus de nouveaux fournisseurs pour s'assurer que les 40 % d'importations restantes ne seraient pas dépendantes d'un seul ravitailleur.

Trading via Baltpool gives the company an opportunity to contact more and new suppliers while the auction procedure guarantees healthy competition and transparency. In addition, several suppliers can contribute towards the same total volume. [Monica Lundgren, Head of Fuel Supply at Stockholm Exergi, revue: bioenergy international, juin 2021]

Étant moins assurée d'avoir les quantités suffisantes, Drax a préféré devenir son propre fournisseur en rachetant et développant plusieurs usines de production de pellets aux États-Unis et au Canada. Ce processus d'intégration de l'amont de la chaîne de valeur a l'avantage de simplifier et sécuriser l'approvisionnement de la centrale, mais l'inconvénient de faire porter toutes les difficultés de la production de biomasse à la compagnie britannique.

Ce choix était aussi motivé par la recherche d'une stabilité de la logistique et notamment d'une certaine solidité politique, c'est pourquoi Drax a choisi des pays dont les régimes et relations diplomatiques avec le Royaume-Uni sont stables. Leur décision démontre que le niveau d'implication des autorités politiques compte dans la stratégie de déploiement du BECCS que ce soit par une intervention directe ou indirecte. Ce qui compte encore plus que le niveau d'implication, c'est de connaître quel niveau d'autorité s'implique. Est-ce une autorité nationale ou locale ?

Étant donné le rôle des autorités dans le déploiement, le niveau de leur autorité fait une grande différence dans les configurations d'acteurs. À la lecture d'un rapport de 2021 du conseil départemental du North Yorkshire dans lequel se trouve la centrale de Drax, nous voyons que les autorités locales, qui sont favorables au projet BECCS, le suivent de près, mais n'ont pas un rôle moteur dans celui-ci¹⁶⁴. Les autorités nationales et particulièrement le ministère de l'Industrie tiennent un rôle bien plus déterminant en accordant les subventions et même en développant un *business-model* spécifique pour cette filière technologique. En Suède, les autorités nationales s'investissent de manière moins directe. Elles soutiennent le projet KVV8 par l'intermédiaire de leur agence pour l'énergie, mais pas l'intégralité de la filière BECCS. La municipalité de Stockholm est l'autorité qui pousse le plus l'innovation puisqu'elle est propriétaire et responsable à 50 % pour cette centrale.

¹⁶⁴Rapport du conseil du comté du Yorkshire Nord sur la conversion à la biomasse de Drax : <https://edemocracy.northyorks.gov.uk/documents/s5104/Drax%20Bioenergy%20with%20Carbon%20Capture%20and%20Storage%20BECCS.pdf>

L'importance stratégique de chacune de ces centrales pour l'approvisionnement énergétique est une des raisons pour lesquelles les niveaux des autorités politiques sont différents. La centrale de Drax est essentielle pour le mix énergétique national alors que celle de KVV8 n'a d'importance que pour la ville de Stockholm. L'évolution de la centrale britannique regarde au premier lieu les autorités nationales contrairement à la centrale suédoise.

Enfin, nous n'oublions pas les acteurs académiques qui s'engagent dans le processus d'innovation et de R&D du BECCS. S'il est un moyen de mesurer l'investissement de ces acteurs dans un domaine, c'est en comptant le nombre de publications dans ce domaine. Grâce à Scopus, qui permet d'avoir une vue panoptique de la littérature sur un sujet de travail, nous avons cherché toutes les publications sur le BECCS entre les années 2000 et 2021 – année à laquelle commence ce travail – en entrant comme mot-clef, évidemment, le terme « BECCS » ou « BioCCS », surtout utilisé dans les premières années de recherche. Nous avons ainsi pu identifier 1609 publications. La grande majorité d'entre elles sont rédigées par des chercheurs britanniques (447 soit 28 %). La Grande-Bretagne occupe ainsi un rôle de leader académique dans le développement de cette technologie. Plus surprenant, la Suède avec 136 publications soit 8,5 % du total se place en septième position. Ces deux pays sont donc parmi les plus moteurs dans le monde académique pour la recherche sur BECCS.

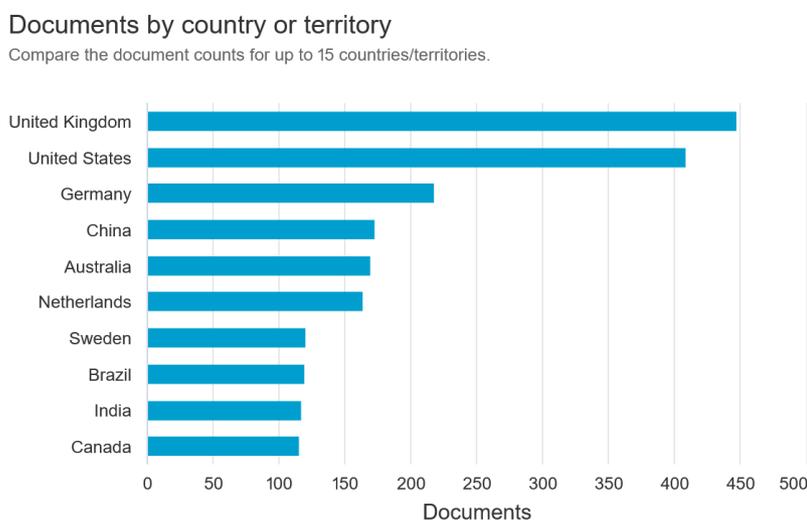


Figure 57 : Part de chaque pays dans le nombre total de publications sur le BECCS, Scopus 2023

Plus intéressant encore, ce sont les nombreuses références au CCS dans ces publications. Nous avons donc cherché à connaître le positionnement de nos pays dans les recherches sur le CCS. De la même manière qu'avec le BECCS, nous utilisons Scopus avec les expressions « Carbon capture and storage » ou « Captage et stockage de carbone » – les termes plus larges de « stockage de carbone » faisaient aussi référence au puits naturel de carbone et non à la technologie CCS. Les résultats indiquent 6 977 publications entre 2000 et 2021 soit plus de quatre fois plus que pour le

BECCS. Comme pour le BECCS, les publications pour le CCS provenaient majoritairement du Royaume-Uni. Avec 1352 publications, les acteurs académiques britanniques participent à hauteur de 19,3 % du total et se classent comme principaux promoteurs des technologies BECCS et CCS, confirmant au passage la pertinence de notre enquête dans cet environnement géographique particulier. En revanche, la Suède n'est pas présente dans le top 10 des publications sur le CCS.

Une des explications est le fait que la technologie BECCS est plus attractive pour ce pays que ne l'était la technologie CCS, car d'une part, la majorité des travaux sur le CCS se concentre sur l'aval du captage, c'est-à-dire le transport et le stockage du carbone et d'autre part, cette technologie est plus habituellement destinée aux émissions d'origine fossile. Pour ces deux raisons, les chercheurs suédois moins soutenus financièrement que leurs homologues anglais sur le CCS, n'ont pas envisagé d'opportunité de déploiement pour leur territoire. Au contraire du BECCS, dont les publications abordent préférentiellement l'amont du captage et notamment les questions d'approvisionnement en biomasse, pour lequel la Suède a un avantage.

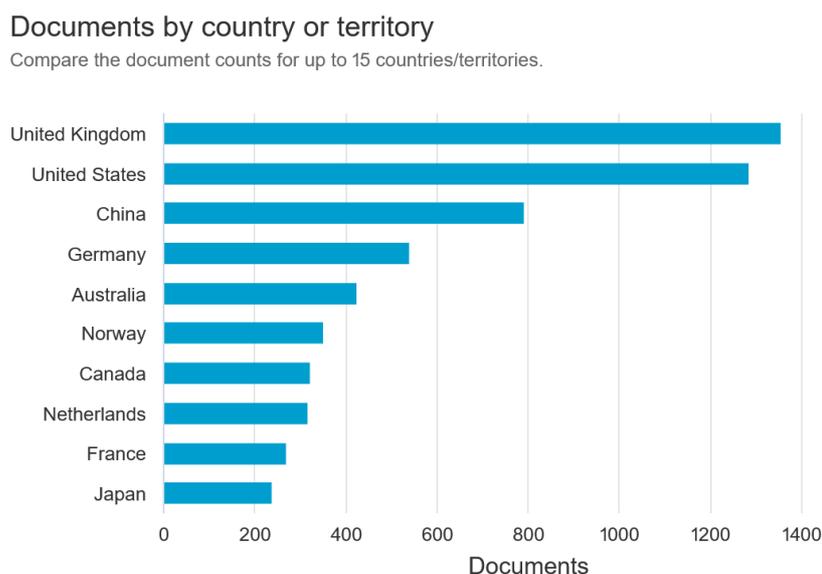


Figure 2 : Nombre de publications sur le CCS par pays, Scopus 2023

De ces deux figures, nous constatons une certaine dépendance au sentier dans le monde académique. Déjà intéressés par le CCS, les chercheurs anglais ont produit des compétences et des connaissances qu'ils ont pu facilement mettre à profit en retravaillant sur le BECCS. Ils ont donc découvert le BECCS par un angle d'approche lié au CCS, au contraire des chercheurs suédois qui l'ont abordé par le prisme de la bioénergie (BE).

Tableau 11 : Différences de configuration d'acteurs entre les cas anglais et suédois, Auclair 2023

Fournisseurs	Profil des compagnies-porteuses	Compétence des porteurs de projet	Autorités politiques impliquées	Type de recherche académique
Drax est devenu par l'intégration de plusieurs scieries son propre fournisseur de pellets alors que KVV8 sous-traite et diversifie ses sources de biomasse	La compagnie de Drax est 100 % privée et cotée à la bourse de Londres alors que la compagnie de KVV8 est une joint-venture à 50/50 entre un acteur privé et la ville de Stockholm	Drax a une culture d'entreprise portée sur l'utilisation du charbon comme combustible jusqu'en 2018 tandis que Fortum qui exploite KVV8 est un spécialiste des énergies renouvelables et du nucléaire	Les autorités locales britanniques sont peu impliquées dans le projet BECCS à l'inverse des autorités nationales. Pour la Suède, c'est la ville de Stockholm qui est surtout le moteur de ce projet.	La recherche académique britannique s'est beaucoup intéressée au CCS pour réduire les émissions fossiles avant de travailler sur le BECCS. Les universitaires suédois travaillent sur le BECCS principalement par l'angle de la bioénergie.

I.4. Le style politique national, vecteur d'un type de transition

Les matérialités et configurations d'acteurs en Suède ont déjà des impacts significatifs, chacune à leur manière sur le sentier de dépendance qu'emprunte la trajectoire de déploiement du BECCS dans ces pays respectifs, mais s'il est un domaine qui affecte particulièrement cette technologie, c'est bien le style politique. Troisième catégorie de notre grille d'analyse contextuelle, le style politique explicite le cadre dans lequel sont prises les décisions sur les sujets technoénergétiques.

Un des principes qui guide le style politique est évidemment le type de politique économique traditionnellement pratiqué dans les pays. La couleur majoritaire du chef du gouvernement national est un bon indicateur pour connaître le type de politique dominant pour chaque pays. Cet indicateur donne également des informations sur la stabilité politique d'un pays. Plus un parti politique reste longtemps au pouvoir, plus nous pouvons attendre une fidélité aux grandes décisions qu'il a prises.

Au Royaume-Uni, c'est le parti Conservateur, qui depuis 1970, a placé à la tête du gouvernement l'un de ses membres le plus longtemps. Sur 53 années, le Premier ministre britannique a été un conservateur pendant 35 années. Le reste du temps, le Premier ministre était un membre du parti Travailleuse. Un même parti a donc occupé la fonction 66 % du temps. Sur la même durée, c'est le

parti social-démocrate en Suède qui a dirigé le gouvernement. Le reste est réparti entre trois partis avec une majorité du parti des Modérés.

Alternance des chefs des gouvernements entre 1970 à 2023

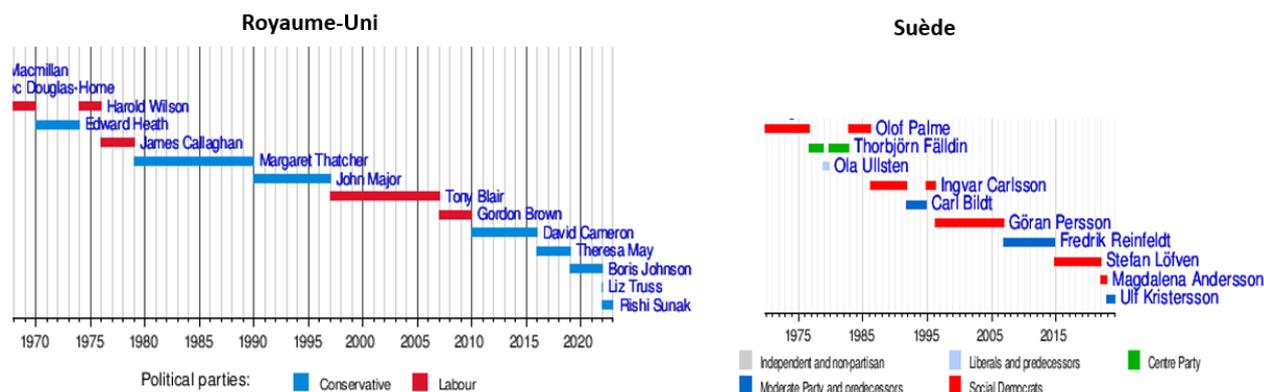


Figure 58 : Représentation des partis au poste de chef du gouvernement au Royaume-Uni et en Suède depuis 1970 à aujourd'hui, Source : BBC

Les gouvernements suédois depuis les années 1970 sont reconnus pour avoir majoritairement suivi une idéologie sociale-démocrate dans leurs décisions alors que les gouvernements britanniques adoptent généralement une politique plus conservatrice. Sur le plan économique, le parti conservateur britannique est libéral, c'est-à-dire qu'il est partisan de dépenses publiques limitées, d'une fiscalité réduite, d'une politique monétaire rigoureuse et de positions commerciales libre-échangistes (Wade, 2013). À l'inverse, le Parti social-démocrate suédois est une sorte de troisième voie entre capitalisme libéral et planification soviétique. Andersson (2011) nous dit qu'« en Suède, on sait exploiter les avantages du marché pour ensuite les mettre au service de [tous] ». La politique sociale-démocrate a traditionnellement mis l'accent sur une structure de dépenses de l'État, dans laquelle les services publics sont fournis par l'intermédiaire du gouvernement local (Abrahamson, 1999).

La confiance dans le marché économique n'est pas le seul facteur qui sépare les deux styles politiques. Le régime parlementaire s'avère encore déterminant pour comprendre le contexte de prise des décisions, puisque c'est le Parlement qui propose et vote les lois dans ces deux démocraties. Alors que la liberté d'association est identique, le parlement britannique est très largement représenté par deux partis : les Conservateurs, dit *les Tories*, et les Travailleurs, le *Labour*. La prédominance de ces deux partis permet d'affirmer que le régime britannique est marqué par le bipartisme. Le régime suédois est souvent considéré comme le parfait prototype du pentapartisme, c'est-à-dire que le système politique est fondé sur la domination de cinq partis majeurs : le parti radical de gauche, le parti social-démocrate, le parti conservateur, le parti du Centre et le parti libéral.

En Grande-Bretagne, entre 1970 et 2015, le parti travailliste obtient chaque année entre 30 % et 60 % des sièges et quand son nombre de députés est au plus bas, c'est que le nombre d'élus conservateurs est au plus haut. Ce dernier parti a obtenu sur la même période entre 25 % et 60 % des sièges. L'alternance et l'emprise de ces deux parties sur l'ensemble de la vie politique britannique sont, par conséquent, très marquées. Comme leurs philosophies politiques sont opposées, le basculement de la majorité d'un parti sur l'autre entraîne une forte instabilité sur les stratégies de long-terme. Lorsqu'un parti est élu, il s'efforce de «défaire» ce qu'a fait son prédécesseur, ce qui est souvent un argument de leur stratégie électorale (Green et Hobolt, 2008). Ce fut particulièrement le cas en 1997 avec l'élection du travailliste Tony Blair, lorsque la courte majorité des Conservateurs devient une large majorité du Labour.

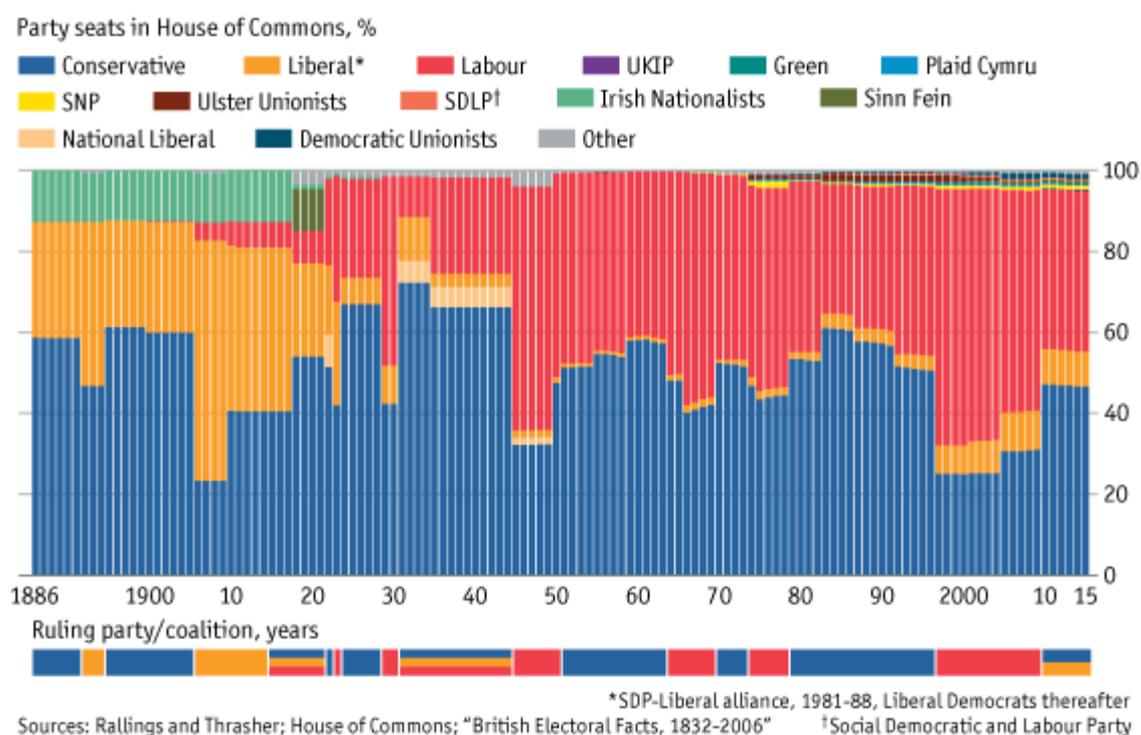


Figure 59 : représentation des partis politiques par siège au Parlement britannique de 1886 à 2015, Source : Rallings and Thrasher, 2016

En Suède, la compétition entre cinq parties ainsi que la domination quasi constante du parti social-démocrate rendent les alternances moins brutales. Par conséquent, les stratégies de long terme sont plus stables et s'étendent sur des durées plus longues. Entre 1970 et 2006, par exemple, le parti social-démocrate est le parti qui obtient largement le plus de sièges chaque année. Avant les élections de 1991, les trois partis : Les Libéraux, le Centre et les Verts occupés étaient représentés à proportions égales entre 10 % et 20 % chacun. Les partis de gauche étant parmi les cinq partis, le moins représenté avec environ 5 % des sièges à chaque élection.

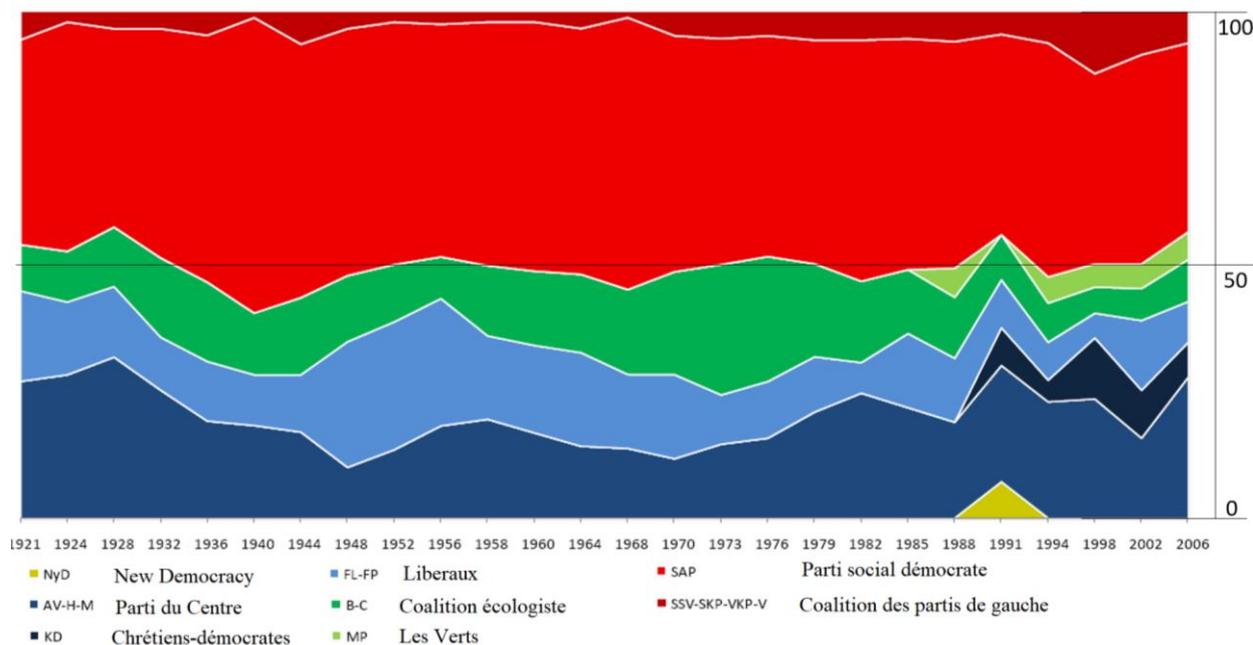


Figure 60 : Représentation des partis politiques au parlement suédois de 1921 à 2006, source : Swedish Institute

Cette grande stabilité de la représentation majoritaire du parti social-démocrate sur plusieurs décennies a permis à la Suède d'engager des réformes stables dans le domaine de l'énergie notamment et de promouvoir progressivement le développement d'une large filière de bioénergie comme nous avons pu le voir dans le chapitre 5. Il est probable que sans cette fidélité de la trajectoire techno-politique du parti social-démocrate en faveur d'un accroissement de l'usage des ressources naturelles du pays dans le mix énergétique aux dépens des importations d'hydrocarbures, parfois économiquement plus rentables, la bioénergie n'aurait pas connu un tel essor¹⁶⁵. Comme cette stabilité a un rôle déterminant dans les choix technologiques de la transition énergétique nationale et qu'elle apparaît différente d'un pays à l'autre, nous en faisons un facteur contextuel sur style politique.

En plus de décrire la continuité des politiques menées par un parti, le type de régime parlementaire nous en apprend encore sur la culture des prises de décisions générales. Le bipartisme britannique entre deux parties aux idéologies opposées induit une forme de confrontation permanente dans la culture politique nationale. C'est pourquoi l'exécutif britannique tend à adopter une attitude autoritaire et monocéphale dans les prises de décisions. Différemment, le pentapartisme suédois peut être à l'origine de la culture de négociation et de consensus que l'on attribue souvent aux pays scandinaves. Ainsi les prises de décisions sont plus souvent multicéphales, car « les dynamiques inclusives de la démocratie nordique tendent en effet à associer les forces d'opposition au travail parlementaire, à faire de la loi un produit de compromis plutôt qu'un acte d'autorité » (Hastings,

¹⁶⁵ Michel Cruciani, "The Energy Transition in Sweden", Études de l'Ifri, June 2016

2011). Cette dimension du procédé de la prise de décision est essentielle à prendre compte dans notre étude, car les enjeux de justice procédurale des mesures de soutien pour une technologie impactent fortement l'acceptabilité de celle-ci.

Un dernier critère qui nous sert à évaluer le style politique dominant dans un pays est la subsidiarité ou la centralisation des prises de décisions en ce qui concerne les choix technoénergétiques. La Suède applique aux décisions économiques et énergétiques, un principe de subsidiarité forte que nous avons déjà élaboré dans le chapitre cinq que ce soit pour la gestion des forêts ou l'aménagement des réseaux de chaleur urbains. Vartiainen (1998) confirme que « Les politiques économiques des sociaux-démocrates suédois n'étaient pas le produit d'une autorité centralisée, mais plutôt d'une série d'initiatives influencées par de nombreux acteurs politiques inspirés par les préférences nationales ». À l'inverse, la Grande-Bretagne s'attache à suivre une tradition centralisatrice dans laquelle le Parlement national est à la tête d'une « seule chaîne de commande » (Saalfeld, 2003). Les choix technoénergétiques nationaux et leurs implications modales restent une fonction dévolue au gouvernement britannique. À l'inverse le gouvernement suédois préfère persuader ou lever des taxes pour inciter les municipalités à faire des choix technoénergétiques qui les concernent directement.

Ainsi les variations de matérialité et de configuration d'acteurs résonnent avec les styles politiques respectifs du Royaume-Uni et de la Suède. Le premier élabore une politique économique libérale dans un parlement dominé par deux grands partis frontalement opposés et exécute des décisions d'une façon relativement autoritaire et centralisée. Le second, quant à lui, préfère adopter un politique consensuel de tendance social-démocrate dans un parlement où siègent cinq grands partis, tout en laissant une marge de manœuvre aux autorités subsidiaires.

Tableau 12 : Différences de style politique entre les cas anglais et suédois, Auclair 2023

Type de politique	Type de régime parlementaire	Subsidiarité /centralisation des décisions	Culture de la prise de décision	Stabilité des décisions
La politique appliquée par le parti le plus longtemps élu au Royaume-Uni est de type libéral alors qu'en Suède, elle est sociale-démocrate.	Deux grands partis se disputent le pouvoir au Royaume-Uni (le bipartisme). Le Parlement suédois voit la présence de cinq grands partis (pentapartisme)	L'exercice du pouvoir central de Westminster est appliqué par une longue chaîne de commande tandis que les municipalités suédoises ont une grande marge de manœuvre	Au Royaume-Uni, l'opposition politique est rarement intégrée aux décisions (autoritarisme) alors que les Suédois ont bâti une culture du consensus entre les partis	L'alternance politique entre les deux partis britanniques génère une instabilité sur l'application des décisions, ce qui n'est pas le cas en Suède où les alternances sont moins brutales

1.5. Les représentations collectives, l'imaginaire de l'énergie et de son utilité nationale

Après avoir apprécié les dimensions matérielle, relationnelle et politique du contexte de développement du BECCS, la quatrième dimension majeure de notre grille explorera la dimension cognitive. Les représentations collectives sont la structure mentale dans laquelle prend forme la vision que nos acteurs ont de ce que doivent être l'énergie et la décarbonation.

Les différences notables en termes de vision se portent sur le type de ressources privilégié par les gouvernements nationaux et les raisons pour lesquelles ils sont préférés. À partir des années 1970 et du premier choc pétrolier, des changements majeurs interviennent dans les mix énergétiques nationaux. Ces changements principalement motivés par des mesures du gouvernement pour favoriser l'indépendance énergétique ont eu des effets différents selon les visions respectives des types de ressources.

Les décideurs britanniques ont une vision très positive des énergies fossiles. Pour eux, elles sont synonymes d'économie florissante et d'intense rayonnement international depuis la Révolution Industrielle. Cette représentation explique pourquoi au début des années 1970, le Royaume-Uni pour son indépendance énergétique remplace une énergie fossile par une autre plutôt que de se tourner vers un autre type d'énergie décarbonée. Il entame alors une conversion de son « gaz de ville » utilisé pour la cuisine et le chauffage, principalement issu de la distillation du charbon, vers du gaz naturel après que de larges réserves de gaz aient été découvertes en Mer du Nord. Ce changement qui concerne une quinzaine de millions de foyers est mené de manière centralisée grâce

à une campagne nationale dirigée par le gouvernement¹⁶⁶. Ce dernier apprécie le gaz et le pétrole autant pour la disponibilité des ressources sur son propre territoire que pour les avantages économiques qu'ils apportent.

En 2008, François Lafargue montrait que le secteur pétrolier et gazier au Royaume-Uni représentait plus de 30 000 emplois directs et contribuait le plus aux coffres du Trésor britannique, avec 15,6 milliards d'euros en impôts sur les bénéfices, passant même devant le secteur bancaire (Lafargue, 2008). Ce double attrait pour les énergies fossiles, à la fois géopolitique et économique, explique la conservation d'une part conséquente et stable des énergies fossiles dans le mix énergétique britannique à hauteur de 90 % jusque dans les années 2010, où l'éolien qui garantit aussi une indépendance énergétique « grignote » progressivement la part du gaz.

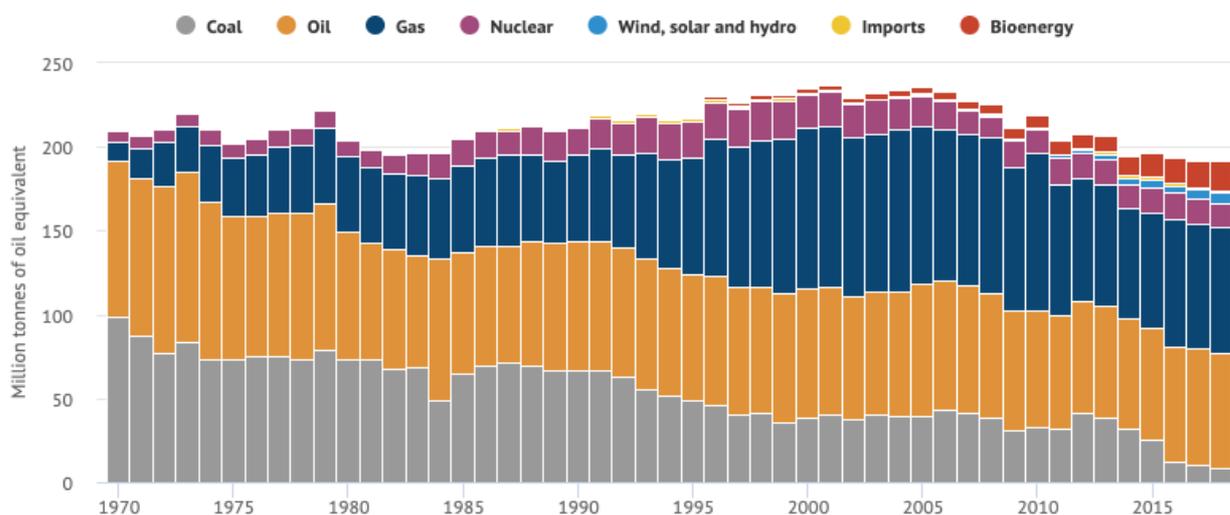


Figure 61 : Répartition des sources d'énergie primaires au Royaume-Uni en millions tep¹⁶⁷

Comme dans beaucoup d'autres pays producteurs, l'État britannique s'implique directement dans l'exploitation de ses ressources fossiles et dans leur système de transformation privilégiant des sources d'énergie unique et facilement contrôlable. Ainsi le système énergétique est principalement centralisé avec de l'électricité produite dans peu de centrales électriques éloignées, des systèmes de chauffage généralement alimentés par du gaz distribué de manière centralisée et du carburant de transport raffiné et distribué via quelques grands dépôts. En outre, les règles du marché, les arrangements institutionnels, les modèles économiques et les normes sociales rendent le système énergétique difficile à modifier et renforcent la domination de quelques technologies énergétiques centralisées. Certains chercheurs avancent même que le Royaume-Uni est verrouillé dans un

¹⁶⁶Consulté sur le site de l'association anglaise Rapid Transition Alliance en 2023 : <https://rapidtransition.org/stories/the-great-switch-lessons-from-when-14-million-homes-and-businesses-changed-fuel-in-less-than-a-decade/>

¹⁶⁷ Statistiques du gouvernement britannique sur la consommation nationale d'énergie : <https://www.gov.uk/government/statistics/digest-of-uk-energy-statistics-dukes-2019>

système centralisé qui limite la diversification des opérateurs et des sources d'énergie (Hunt et Milne, 2013). Ainsi en plus d'être perçue comme une prérogative directe des autorités nationales, la répartition du mix énergétique apparaît très uniforme avec le pétrole et le gaz représentant en 2020 encore 80 % de toutes les sources d'énergie.

Le choc pétrolier en Suède a eu un tout autre impact et révèle une autre vision de l'énergie. En réponse à l'augmentation des prix du baril, la Suède cherche à diminuer ses importations de pétrole dès le début des années 1970 en introduisant une taxe sur l'énergie. En effet, il n'y a pas de sources d'énergie fossiles sur le territoire suédois et ce type d'énergie n'a jamais été synonyme d'indépendance pour ce pays. L'adoption du pétrole dans le mix énergétique fut un choix économique, car cette énergie est le plus souvent bon marché et facilement accessible dans le commerce international. Rendant le pétrole plus onéreux, la taxe a eu pour principal effet l'introduction et l'expansion du chauffage urbain bien que cette décision ne soit pas motivée par une politique gouvernementale spécifique ou une décision parlementaire en faveur du chauffage urbain. Presque tous les systèmes de chauffage urbain ont démarré dans un contexte municipal, avec des gouvernements locaux ou des entreprises municipales en tant que propriétaires et exploitants. De la même manière, le choix de la biomasse comme source d'énergie n'était pas évident d'un point de vue économique. C'est une vision selon laquelle la biomasse pouvait rendre la Suède énergétiquement indépendante qui a prévalu dans cette conversion. De plus, même si l'usage de la biomasse a été soutenu par le gouvernement à travers des financements de R&D ou des programmes de subventions, c'est un fort engagement local en faveur des sources d'énergies renouvelables locales qui a réellement opéré la transformation.

Toutes ces mesures nationales et locales ont eu pour effet, en allant à contre-courant des avantages économiques à court terme des énergies fossiles, d'« insulariser » la production énergétique avec les ressources présentes sur le territoire national comme l'hydroélectricité et la biomasse. Il en résulte que les énergies fossiles sont dans la vision de l'énergie à la suédoise un symbole de dépendance autant à des producteurs étrangers qu'à un passé climatiquement néfaste. Ainsi la constitution du mix énergétique suédois garantit l'indépendance énergétique tout en faisant de la Suède, le leader mondial de la décarbonation¹⁶⁸. L'exemplarité écologique est un moyen aujourd'hui privilégié par le gouvernement suédois pour son rayonnement diplomatique.

Pour conclure sur la représentation collective de la Suède, nous constatons qu'aux yeux des décideurs gouvernementaux et municipaux, l'énergie est avant tout locale et donc décentralisée. En

¹⁶⁸ Rapport de l'Agence Internationale de l'Energie sur la Suède : <https://www.iea.org/countries/sweden>

laissant plus de liberté aux autorités municipales, le gouvernement suédois favorise la diversité des sources d'approvisionnement énergétique. Ainsi le mix énergétique national affichait en 2010 quatre grandes sources d'énergie différentes participant presque également à l'approvisionnement national, approximativement 20 % d'énergie nucléaire, 30 % d'énergies fossiles principalement du pétrole, 30 % de biomasse et 20 % d'hydroélectricité.

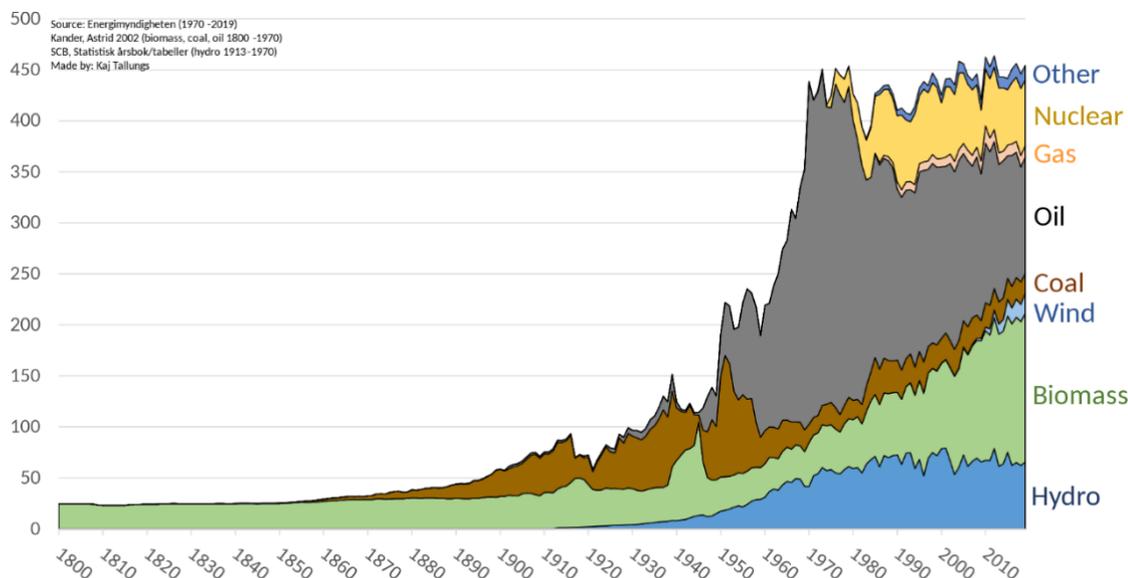


Figure 62 : Répartition du mix énergétique suédois de 1800 à 2020 en TWh, source : *Energimyndigheten*

Les différences avec le Royaume-Uni s'avèrent donc majeures et expliquent sur quelles bases seront prises les décisions concernant le déploiement du BECCS.

Tableau 13 : Différences de représentations collectives entre la Suède et le Royaume-Uni, Auclair 2023

Type de ressources privilégiées	Étendue du rayonnement national	Responsabilité des choix énergétiques	Objectif de la production énergétique	Diversité du mix énergétique
Les énergies fossiles sont pour la Grande-Bretagne des attributs d'indépendance énergétique et de croissance économique alors que pour la Suède ce sont les ressources hydroélectriques et la biomasse	La Grande-Bretagne, en mémoire de son empire, ambitionne un rayonnement mondial alors que la Suède étend son influence dans la région plus petite de la mer Baltique	Le système énergétique est intégralement contrôlé par le gouvernement britannique alors que les autorités nationales suédoises laissent la mise en œuvre des opérations aux mains des autorités locales	La production énergétique britannique a pour but presque exclusif d'assurer la croissance économique du pays alors que les Suédois y voient aussi un moyen de rayonner à travers une exemplarité écologique	Jusqu'en 2020, les énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole) n'avaient pas de concurrent dans le mix énergétique britannique alors que le mix suédois était plus diversifié avec 4 grandes sources d'énergie approximativement égales

Les quatre critères contextuels majeurs de notre grille d'analyse nous permettent déjà d'affirmer que l'environnement sociotechnique du Royaume-Uni précédant le lancement du BECCS apparaît plus *fossilisé* que celui de Suède. De fait, tant des points de vue matériel et relationnel où les infrastructures et les acteurs sont issus des filières d'exploitation des énergies fossiles que des points de vue politique et cognitif où les régulations en vigueur favorisent la centralisation et l'exploitation des sources d'énergies qui sont historiquement fossiles. La *fossilisation* concerne donc un mode de fonctionnement et de gestion sociopolitique durable d'un système de production de l'énergie qui s'est construit pour et par l'exploitation et l'utilisation du pétrole, du gaz et/ou du charbon. Elle annonce une dépendance forte aux énergies fossiles et aux méthodes développées pour celles-ci dans le paysage britannique de développement du BECCS.

À l'inverse, la Suède n'a pas *fossilisé* son système de production énergétique qui est resté relativement indépendant des énergies fossiles. La décentralisation d'une partie des décisions comme l'usage des ressources locales témoigne d'une plus grande souplesse dans les marges de manœuvre des choix technoénergétiques. De plus, l'usage de la biomasse est déjà très répandu et facilité par l'étendue des nombreux réseaux de chaleur urbains et de leurs petites unités de production d'énergie. L'implantation de l'amont de la chaîne de valeur du BECCS bénéficiera de cet environnement.

Avant d'étudier les facteurs contextuels propres au déploiement du BECCS dans chacun de nos pays, il convient de préciser les deux critères spécifiques à la technologie que nous avons présentés au chapitre trois. En étudiant les formes de soutien politique aux transformations passées du système énergétique dans nos deux pays, nous saisissons mieux les enjeux et causes de la forme de support qui se dessinent aujourd'hui pour promouvoir le BECCS. De plus, l'internalisation des influences extérieures précédant le lancement des technologies à émissions négatives nous donnera des clés de compréhension sur les canaux actuels qui en encouragent l'émergence.

1.6. Des formes de soutien politique à l'internalisation des influences extérieures

Comme nous l'avons vu lors de l'enquête de terrain en Angleterre, les transformations passées majeures qui ont tracé un chemin de déploiement du BECCS dans le système britannique sont triples : la construction de la centrale de Drax et d'autres centrales à charbon, le « *capture ready* » ou les tentatives de déploiement du CCS et la conversion à la biomasse. Dans ces trois projets, l'État s'implique directement en utilisant principalement des instruments de type économique et fiscal incitatif. À l'exception des ROCs, les certificats obligatoires d'énergie renouvelable qui sont un mécanisme de redistribution économique entre fournisseurs d'électricité fossiles et renouvelables, le Royaume-Uni n'a pas introduit d'instruments purement coercitifs dans son système de production

d'énergie. La distribution de subventions plutôt que la taxation demeure la forme de soutien politique privilégiée par le gouvernement britannique pour transformer son mix énergétique.

À l'inverse, la Suède a principalement eu recours à des mesures coercitives pour changer son mix énergétique. Les grands changements qui aujourd'hui rendent le BECCS possible sont l'expansion des réseaux de chaleur, le développement de la filière biomasse et l'usage de celle-ci dans les réseaux de chaleur. Les deux principaux instruments pour opérer ces changements furent l'introduction d'une taxe sur l'énergie et la transformation de celle-ci en taxe sur les émissions de carbone. De la même manière que le Royaume-Uni, la Suède a introduit un marché de certificats d'électricité renouvelable qui taxe les producteurs d'électricité fossile pour subventionner ceux d'énergie « verte ». Des instruments de type incitatif furent néanmoins utilisés pour financer les travaux de R&D sur la combustion de biomasse comme sur le captage du carbone. Malgré ces subventions, les impacts les plus décisifs dans la décarbonation du mix énergétique résultent de la promulgation de mesures coercitives, qui est donc une forme privilégiée de soutien politique suédois pour son système énergétique.

Du point de vue de l'internalisation des influences extérieures, nous notons des ressemblances sur les événements qui ont transformé le mix énergétique. D'abord, le développement de l'énergie nucléaire, plutôt populaire après-guerre, est stoppé dans ces deux pays suite à l'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island, États-Unis en 1979. En revanche, l'arrêt ne s'est pas produit de la même manière. Le gouvernement suédois proposa en 1981 un référendum sur le futur de l'électronucléarisation nationale dont l'issue fut « un moratoire prévoyant l'arrêt complet des centrales en 2010 » (Meyer, 2017). Pour les Britanniques, la gestion technocratique des projets de déploiement du nucléaire (Carvalho, 2018) est arrêtée par les rapports de deux commissions parlementaires (Boer et Catsburg, 1988). Cet exemple, même s'il ne concerne pas directement la bioénergie, montre les réactions politiques de chaque pays à des influences externes. De manière générale, la société civile intervient plus souvent dans les décisions sur le mix énergétique en Suède qu'en Angleterre.

Cette revue des six facteurs contextuels passés de nos cas d'étude montre de grandes disparités sur l'organisation du mix énergétique, les méthodes de gestion de celui-ci et la vision des différentes énergies. Le Royaume-Uni apparaît plus technocratique, centralisé et fossilisé que ne l'est la Suède. Maintenant, il est intéressant de voir dans quelle mesure ces facteurs contextuels se retrouvent dans les décisions récentes sur le déploiement du BECCS.

1.7. Les vicissitudes actuelles des transitions écologiques nationales

Une ressemblance évidente dans la matérialité actuelle des deux cas d'étude est l'absence d'infrastructure de transport et de stockage de carbone. Or ce dispositif est la clé de voûte de la promesse du BECCS de produire des émissions négatives. À l'heure actuelle, le BECCS n'est qu'au stade du BE (BioEnergie) sans le CCS. Bien que la conception des systèmes diffère, la construction du CCS reste un défi de taille dans les deux pays. Ce défi est un point commun qui représente même une compétition technologique puisque chaque porteur de projet veut se targuer d'être le premier à avoir produit une émission négative dans le monde.

Hormis ce point d'infrastructure commun, les matérialités respectives des deux pays ne présentent pas de différences qui se seraient créées avec le début des projets du BECCS. La matérialité des ressources et des infrastructures en place verrouille ainsi les trajectoires d'innovation dans chaque pays. Il en va de même pour la configuration d'acteurs qui n'a pas fondamentalement changé depuis le déploiement du BECCS.

1.7.1. Une inflexion des styles politiques et des représentations collectives

Du côté du style politique, nous notons trois changements majeurs du paysage politique suédois depuis les élections législatives de septembre 2018. D'abord, le nombre de partis politiques a augmenté de cinq à huit au Parlement faisant ainsi éclater le pentapartisme historique. De plus, l'arrivée de partis d'extrême-droite a entraîné la contestation du modèle socio-démocrate traditionnel notamment en termes d'immigration, mais aussi d'intervention de l'État dans la vie économique du pays (Elgenius & Wennerhag, 2018). Enfin, l'absence de majorité et le refus de coopération entre les trois principaux blocs font craindre un effritement du consensus national sur les priorités climatiques et la direction de l'exemplarité écologique¹⁶⁹. Même s'il est encore trop tôt pour mesurer les conséquences d'un tel changement, il apparaît évident que le style politique suédois se transforme et par conséquent, l'environnement d'émergence du BECCS aussi.

Pendant ce temps, le style politique britannique semble rester stable. Le parti conservateur est toujours au pouvoir, le libéralisme demeure la doctrine économique principale et le bipartisme du Parlement subsiste tel qu'il était. Le principal événement dans le paysage politique du Royaume-Uni est évidemment le Brexit, mais celui-ci change surtout l'internalisation des facteurs extérieurs,

¹⁶⁹Consulté sur le site du journal Le Monde en 2023 :
https://www.lemonde.fr/en/sweden/article/2023/04/06/swedish-government-criticized-for-abandoning-climate-targets_6021871_213.html

étant donné que les Britanniques sont libres de ne plus appliquer les directives européennes en matière de lutte contre le réchauffement climatique.

Les représentations collectives sur l'énergie et les émissions de carbone de ces deux pays ont également connu une inflexion avec la promulgation d'une loi-cadre contraignante pour les États dans la poursuite de leurs objectifs de réduction climatique.

Au Royaume-Uni, une loi sur le changement climatique existait depuis 2008, mais ce n'est qu'en 2019 qu'elle est modifiée pour devenir contraignante et surtout mettre en avant la neutralité carbone (ou NetZero) visée par les autorités à l'horizon 2050. Dans ce cadre, une feuille de route en dix points intitulée une « Révolution industrielle verte » est élaborée par le gouvernement¹⁷⁰. Au passage, notons que le choix de ce titre témoigne encore de l'écho de la Révolution Industrielle dans l'esprit des gouvernants britanniques pour garantir l'indépendance énergétique et la croissance économique. Le huitième des dix points de cette feuille de route concerne directement les investissements dans les technologies de captage et de stockage du carbone. L'objectif du CCS est de « revitaliser les berceaux de la Première Révolution Industrielle » en stockant 10 Mt de CO₂ à l'horizon 2030 et en créant plus de 50 000 emplois directs¹⁷¹.

Toutefois, notons que cette Révolution verte n'est pas aussi radicale qu'elle y paraît. Lorsque l'indépendance énergétique et la croissance économique nationales sont menacées par l'augmentation des tarifs du gaz à cause de la guerre en Ukraine, le gouvernement se tourne de nouveau vers l'exploitation des énergies fossiles de la mer du Nord. En autorisant annuellement l'octroi de licence pour la production d'hydrocarbures, les décideurs britanniques se rappellent qu'en cas de crise sur la grandeur de la nation, le pétrole fut une bonne solution¹⁷². Malgré une prise de conscience environnementale et un engagement légal concret, le Royaume-Uni reste dépendant non seulement matériellement, mais aussi cognitivement de son passé fossile.

La Suède, quant à elle, a aussi voté en 2017 une loi-cadre, largement soutenue par les parlementaires à l'exception de ceux d'extrême droite, pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2045, soit

¹⁷⁰ Rapport du Climate Change Committee sur la loi britannique de 2020 : <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2020/10/CCC-Insights-Briefing-1-The-UK-Climate-Change-Act.pdf>

¹⁷¹ Publication du Ministère de l'Ecologie britannique sur les 10 priorités de la stratégie bas-carbone : <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution/title#point-8-investing-in-carbon-capture-usage-and-storage>

¹⁷² Consulté sur le site du journal The Guardian en 2023 : <https://www.theguardian.com/business/2023/nov/07/north-sea-oil-gas-licensing-scheme-rishi-sunak-kings-speech-bills>

cinq ans avant la Grande-Bretagne¹⁷³. Comme outre-Manche, la loi fixe des objectifs contraignants de réduction des émissions de dioxyde de carbone. Le rôle du CCS et avec celui de la séquestration dans les puits de carbone naturels est relativement marginal, car il ne concerne que 15 % des émissions à réduire¹⁷⁴. Il est à privilégier pour les industries fortement émettrices comme les cimenteries ou les aciéries seulement si d'autres procédés d'électrification sont moins compétitifs.

Même si les objectifs climatiques et les contraintes légales sont semblables entre les deux pays, le BECCS et le CCS n'y ont pas la même place. C'est une technologie prioritaire au Royaume-Uni pour faire revivre l'industrie nationale alors que c'est un dernier recours pour rendre possible la décarbonation lorsque toutes les autres possibilités sont épuisées en Suède¹⁷⁵.

Par conséquent, les stratégies de développement de l'innovation diffèrent avec, au Royaume-Uni, une stratégie nationale largement soutenue et pilotée par le gouvernement autour de grands centres industriels alors que le gouvernement suédois n'a pas de plan national et va laisser l'implantation à la discrétion des acteurs industriels qui en auront réellement besoin.

1.7.2. Des formes de soutien politique et des internalisations dépendantes du passé

Au Royaume-Uni, la forme définitive du soutien dédié au BECCS n'est pas encore atteinte. Le positionnement sur deux marchés différents, celui de l'énergie et des émissions négatives complexifie la tâche du ministère qui cherche à trouver la formule adéquate pour soutenir la technologie sans gaspiller les ressources des contribuables. Fidèle à leur tradition libérale, l'idée de cet instrument est plus d'accompagner l'intégration de l'innovation dans un marché privé d'émissions négatives. Comme nous le dit le directeur du département CCS au BEIS, l'outil principalement envisagé est le CfD (Contract for Difference), c'est-à-dire une subvention qui s'adapte au prix du marché et comble la différence entre le coût de production et le prix de vente de l'émission négative. La référence à choisir pour le prix de vente reste encore en discussion.

¹⁷³ Consulté sur le site du journal Le Monde en 2023 : https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/01/22/la-suede-se-dote-d-une-loi-climatique-extremement-ambitieuse_5244994_1652612.html

¹⁷⁴ Publication du gouvernement suédois sur sa stratégie bas-carbone : <https://www.government.se/articles/2021/03/swedens-climate-policy-framework/>

¹⁷⁵ Livre blanc de la stratégie bas carbone de la Suède https://unfccc.int/sites/default/files/resource/LTS1_Sweden.pdf

[Negative emissions] is a new market, it's a new technology. It will need markets to be developed. Some of which we'll be done through private markets, some of which will be constructed by government and policy. So there are many options that can be considered around. For example, contracts for difference against the carbon price could be one example and you could do contracts for difference against the live carbon price. You could do contracts for difference against a reference carbon price. [Responsable BECCS au ministère de l'Industrie britannique, propos recueillis]

Les Britanniques croient donc fermement à la création d'un marché privé qui sera, à un moment donné, capable de supporter le coût de production des émissions négatives. Leur stratégie n'est donc pas de créer un marché *ex nihilo* national comme peut le faire la Suède avec son outil d'enchères inversées. Malgré la nouveauté de ces outils nationaux, nous reconnaissons que ceux-ci sont fortement dépendants des traditions politiques de chaque pays. L'héritage libéral de la Grande-Bretagne encourage ses dirigeants à choisir des politiques axées sur le marché privé alors que la coutume sociale-démocrate suédoise préfère isoler ses innovations d'un marché privé.

Sur le plan de l'internalisation des facteurs externes, le changement récent le plus marquant est sans aucun doute le Brexit qui « libère » le Royaume-Uni du cadre législatif européen sur les outils de soutien à son industrie énergétique. Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, le choix de l'enchère inversée en Suède correspondait autant à la volonté du gouvernement suédois de créer une garantie nationale d'achat des émissions négatives qu'à la nécessité de se conformer aux règles de l'Union européenne sur les instruments de financements des énergies renouvelables. Il n'est pas certain que le modèle de CfD que la Grande-Bretagne s'appête à utiliser pour le BECCS soit conforme au cadre de l'UE. Cette marge de manœuvre pourrait marquer une différence majeure dans le déploiement du BECCS entre ces deux pays.

Au sujet de l'internalisation de l'intérêt mondial pour le BECCS suite à la publication du rapport spécial du GIEC de 2018 sur le Net Zero, les canaux de traduction principaux sont différents. Le Royaume-Uni prend véritablement conscience de l'importance du BECCS et plus largement du CCS dans la lutte contre le réchauffement climatique à partir de la publication d'un rapport de son Climate Change Committee en 2019. Suivant ce rapport qui reprend en grande partie les conclusions du GIEC¹⁷⁶, un nouveau souffle est donné dans les politiques publiques aux technologies de captage et

¹⁷⁶ Rapport du Climate Change Committee sur les trajectoires britanniques du Net Zero : <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2019/05/Net-Zero-The-UKs-contribution-to-stopping-global-warming.pdf>

de stockage de carbone avec la création de fonds spécialement adaptés comme le *Industrial Decarbonisation Challenge Fund* et *Accelerating CCS Technologies Research programme*.

The Climate Change Committee publication in 2019 [on the need for] net zero is the one that I remember making headlines, it was actually in the news! If we're going to meet the IPCC reported targets, we must do [CCS] and that made a very big change! There's very big change in attitude in the industry and also from the government policy strategy and that then became the Industrial Decarbonisation Challenge Fund and all of these sorts of projects that you start hearing about it now very much more seriously since 2019. They funded the Accelerating CCS Technologies Research programme. That was the most recent shift and very much acceleration! [Responsable CCS au British Geological Survey, propos recueillis par F. Auclair 2022]

L'étude de terrain en Suède nous a montré que c'est plutôt dans la course à la décarbonation des métropoles-mondes que Stockholm a traduit l'usage du BECCS. Même si l'impulsion directe de conversion de KVV8 au BECCS est venue de la municipalité, il y a un alignement avec les stratégies gouvernementales sur l'exemplarité écologique du pays. Nous voyons à travers cette internalisation suédoise le schéma du style politique nationale d'une action dirigée par les autorités subsidiaires, mais stimulées par les autorités centrales.

Ainsi dans toutes les transformations récentes du contexte sociopolitique, les dépendances au sentier ne sont jamais très loin, que ce soit cognitivement, matériellement ou politiquement.

II. Comparaison des acceptabilités : plus de ressemblances que de différences

Maintenant que nous avons extensivement comparé les contextes passé et présent des deux projets BECCS, il est temps de comparer les enjeux d'acceptabilités déjà mis en lumière dans les chapitres d'enquête de terrain et de les relier aux spécificités contextuelles. Les natures de ces acceptabilités s'étendent autant sur la chaîne de valeur de la technologie que sur l'échelle des acceptabilités depuis le pôle des principes jusqu'au pôle local.

II.1. Répartition sur la chaîne de valeur et sur l'échelle d'acceptabilité

Sur nos deux cas d'étude, nous avons dénombré douze enjeux d'acceptabilité différents. Quatre sont communs aux deux projets, trois sont spécifiques au développement suédois et cinq au déploiement anglais. Les enjeux selon qu'ils appartiennent uniquement à l'un ou à l'autre des cas nous permettront de déterminer la sensibilité d'une acceptabilité par rapport à un contexte. Les deux cas étaient radicalement différents, l'appartenance d'une acceptabilité aux deux cas en même temps sera considérée comme plus propre à la technologie BECCS qu'à un contexte d'intégration particulier.

Pour faciliter la lecture de ces enjeux, nous les disposons selon un axe vertical qui représente l'échelle des acceptabilités et axe horizontal qui dépeint la chaîne de valeur. Nous affichons au sommet (en haut) de l'axe vertical le pôle des principes et à sa base (en bas) le pôle local. Plus la problématique est positionnée haut sur cet axe, moins elle concerne les modalités d'intégration locales ou les problèmes de riverains et plus elle s'applique aux fondements théoriques et politiques qui portent le développement de la technologie.

Sur l'axe horizontal, nous inscrivons à gauche, l'aval de la chaîne de valeur, c'est-à-dire le stockage du carbone et à droite, l'amont, i.e. l'exploitation de la biomasse. Au croisement des deux axes, nous plaçons le centre de la chaîne de valeur qui est le captage du carbone. Plus une problématique est placée à droite, plus elle portera sur des difficultés en lien avec l'exploitation de la biomasse. Plus elle se localise sur la gauche, plus elle traduira un sujet lié au stockage géologique du carbone. Par exemple, une problématique sur le transport du carbone se situera entre le centre du graphique et l'extrémité de gauche puisque le transport intervient sur la chaîne de valeur entre le captage et le stockage.

De surcroît, quatre acceptabilités impliquent à la fois des enjeux de principes et des problématiques locales, c'est pourquoi nous les avons placées dans l'inter-pôles, au milieu de l'axe vertical. Selon la dominance des questions soit de principe ou d'intégration locale, nous les avons placés respectivement soit au-dessus, soit au-dessous de l'axe horizontal.

Enfin, nous attribuons une couleur aux problématiques selon qu'elles soient propres à un projet ou communes aux deux. En violet apparaissent les problématiques communes alors qu'en bleu, nous présentons les enjeux britanniques et en orange, ceux spécifiques à la Suède.

Nous faisons aussi remarquer au lecteur que cette cartographie ne révèle pas le positionnement exact des enjeux sur les axes horizontaux ou verticaux, elle donne des informations sur le positionnement relatif des enjeux les uns par rapport aux autres sur ces deux axes. En effet, les emplacements n'ont pas été déterminés par le résultat d'un calcul précis de coordonnées, mais plutôt par une évaluation croisée de plusieurs sources d'informations tels que les entretiens, les archives et les revues. Par exemple, les données récoltées montrent que le principe de neutralité du carbone de la bioénergie apparaît clairement comme un des postulats inéluctables soutenant le développement de la chaîne amont du BECCS alors que la nécessité des garanties de sécurité du transport de CO₂ est toujours une condition des modalités du déploiement territorial de la chaîne aval. Ainsi l'écart (le premier en haut de l'axe vertical et à droite de l'axe horizontal tandis que le second est bas de l'axe vertical et à gauche de l'axe horizontal) nous informe que même si ces deux enjeux concernent la même technologie, ils sont problématiques pour des raisons différentes et facilement identifiables sur le graphique.

Parfois le souci de clarté d'une représentation graphique nous oblige à disposer les titres des enjeux de manière à ce qu'ils ne se chevauchent pas afin de rester lisibles et cela peut engendrer un décalage « cosmétique » sur l'un des axes. Par exemple, les problématiques de conflits d'usage du stockage et de sécurité du transport sont véritablement décalées sur l'axe horizontal, car le premier est au bout de la chaîne aval alors que le second est au milieu. En revanche, comme tous deux s'appliquent à des modalités d'intégration, leurs positions sur l'axe vertical peuvent être identiques. Mais pour faciliter la lecture, nous les avons placés l'un sous l'autre. Ainsi la zone étroite dans laquelle ils se trouvent est correcte, mais leur position exacte demeure une approximation dans cette zone.

II.2. Les natures des enjeux d'acceptabilité communs aux deux projets

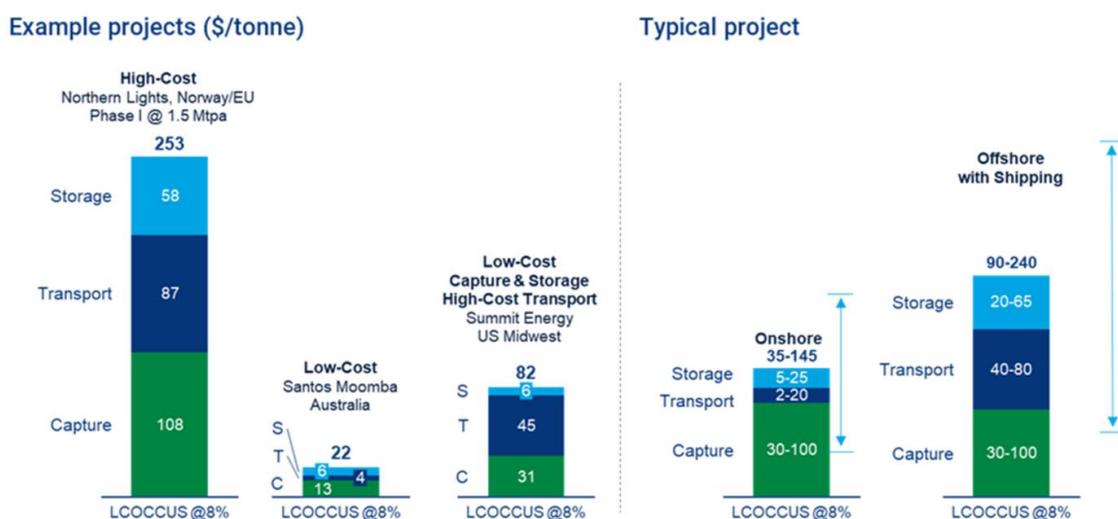
Nous commençons ce recensement des acceptabilités par les enjeux communs aux deux projets. Ils se situent majoritairement dans le pôle des principes et sont proches du sommet de l'axe, ce qui est logique puisque les modalités d'intégration locales des projets sont absentes de ces enjeux. Un seul est localisé à proximité du pôle local en aval de la chaîne de valeur.

Il s'agit **des garanties de sécurité** liées à l'entreposage ou au transport d'une grande quantité de dioxyde de carbone liquide à proximité d'une zone peuplée qui sont reconnues problématiques par les porteurs des projets suédois et anglais comme par les administrations nationales. Comme nous l'avons vu, il n'existe pas encore de standards de sécurité capable de garantir l'innocuité d'un

accident sur des infrastructures dédiées comme un gazoduc ou un buffer de stockage portuaire. Sans ces garanties, les projets seront au mieux retardés le temps d'élaborer une solution adéquate ou au pire annulé ou leur conception entièrement revue, ce qui entraînera surcoût et délais.

De retour sur le pôle des principes, en partant des problématiques les plus en amont, nous trouvons d'abord une question sur **la crédibilité écologique** du BECCS au regard de sa véritable neutralité carbone. La combustion de la biomasse neutre en carbone est le postulat théorique sur lequel repose la capacité du BECCS à produire des émissions négatives ; or celle-ci est très incertaine et suscite des polémiques dans les communautés scientifiques et associatives.

La crédibilité commerciale de la vente des émissions négatives est toujours un sujet de doute pour les promoteurs comme pour les opposants. Le BECCS ne produit pas seulement de l'énergie, mais aussi du carbone stocké. Le surcoût généré par le captage et le stockage du carbone n'est pas compensable par une vente sur un marché quelconque. Sans débouché économique concret, la réalité de la production des émissions négatives reste imaginaire. Pour information, nous plaçons cet enjeu près du centre, car la dépense la plus importante de l'opération est celle du captage du carbone, clé de voûte du processus. Selon les projets, il peut représenter entre 40 % à 70 % de la facture totale. Le transport, par pipeline ou par bateau, est le deuxième poste entre 30 % et 50 % du coût total. Le stockage, quant à lui, est ce qui revient le moins cher dans les opérations (Findley, 2023).



Source: Wood Mackenzie Lens CCUS Valuations

Figure 63 : Structure des coûts des technologies de captage et stockage du carbone (source : Wood Mackenzie, 2023)

Enfin, **l'adéquation de la technologie** au projet d'une société durable et juste est scrutée par les opposants du BECCS. En agissant en aval des émissions de dioxyde de carbone plutôt qu'en amont

pour découpler économie et émissions, le BECCS risque de détourner des ressources sociales et matérielles pour bâtir une société plus sobre et respectueuse de l'environnement. Cela lui attire de nombreuses critiques d'associations, de chercheurs et d'élus.

II.3. Les natures des enjeux d'acceptabilité propres à la Suède

La Suède offre trois enjeux propres pour son projet de déploiement du BECCS qui sont positionnés plutôt en aval de la chaîne de valeur. Le premier très proche du pôle local est celui qui s'apparente le plus à la notion de **NIMBY telle qu'elle est interprétée par les promoteurs**. La direction de Stockholm Exergi craint que l'encombrement « massif » de l'unité de captage à quelques centaines de mètres des quartiers résidentiels provoque une levée de boucliers des riverains et bloque le projet pendant plusieurs années.

Entre le pôle des principes et les modalités locales de déploiement, certains promoteurs remettent aussi en question **la légitimité politique** de la solution de soutien national au développement de cette technologie. En effet, Stockholm Exergi n'est pas le seul industriel à vouloir stocker du carbone, mais il est l'un des plus favorisés par le choix de l'État suédois d'instaurer des enchères inversées. Cette injustice ressentie entre promoteurs de la technologie à cause d'une mauvaise acceptabilité des politiques de soutien risque de nuire à l'émergence d'un écosystème national du BECCS.

Enfin tout au bout de la chaîne de la valeur, nous trouvons les enjeux de **la sous-traitance du stockage de carbone**. La Suède n'ayant pas les ressources humaines et matérielles pour stocker sur son territoire, elle doit faire appel à un autre pays. Cet arrangement n'est pas sans contrainte. Tout d'abord, la Suède sera dépendante de la situation d'un autre pays pour sa production d'émissions négatives, c'est-à-dire que si le pays-stockeur ne peut plus stocker pour des raisons matérielles ou diplomatiques, c'est toute la chaîne du BECCS qui s'arrête. Ensuite, l'usage qui sera fait du carbone doit être soigneusement contrôlé. La pratique de récupération assistée de pétrole dans un autre pays avec l'injection de carbone suédois sera contre-productive pour la décarbonation suédoise. Enfin, les règles actuelles de comptabilité du carbone ne sont pas très claires sur la propriété des émissions négatives. Quel pays sera en mesure de compter les émissions négatives ? Est-ce celui qui capte le carbone ou celui qui le stocke ? Quand l'ensemble des opérations se déroule dans le même pays comme c'est le cas au Royaume-Uni, la question ne se pose, mais lorsque deux pays se partagent l'aval de la chaîne de valeur, la certitude sur l'origine de la production s'étirole.

II.4. Les natures des enjeux d'acceptabilité propres au Royaume-Uni

Le développement du BECCS en Grande-Bretagne compte cinq défis d'acceptabilité. Quatre d'entre eux se partagent la partie amont, dont trois proches du pôle des principes. Le dernier est très en aval et est repéré vers le pôle local.

Ce dernier correspond au **conflit d'usage sur les surfaces marines** entre les zones de stockage géologique de carbone et les autres activités de la mer du Nord, principalement les fermes éoliennes. Les arbitrages entre les trois administrations responsables de la distribution des zones marines risquent de limiter les projections des quantités stockables et réduire ainsi l'attrait de cette technologie pour la décarbonation de l'industrie.

Dans le pôle des principes et très proche de l'amont de la chaîne de valeur se trouvent des enjeux de **crédibilité écologique** attachés à la préservation de la biodiversité. L'exploitation à trop grande échelle des forêts pour la fabrication des pellets de bois ferait peser une menace sur la faune et la flore des forêts exploitées. Le temps de régénération des arbres ne serait pas assez rapide pour conserver les habitats des animaux qui y vivent, menant très probablement à leur extinction. La lutte contre le réchauffement climatique par le BECCS entraînerait alors une accélération des extinctions d'espèces sauvages.

Toujours en amont, mais plus élevé sur l'échelle des principes, les questions de **rentabilité économique** de la bioénergie sont prégnantes. En plus de voir comme en Suède le modèle de production des émissions négatives questionné pour son absence de débouché commercial, le projet anglais est aussi mis sur la sellette en particulier pour l'absence de production de bioénergie. La centrale de Drax, contrairement à la centrale KVV8, est déjà déficitaire sans aucune unité de captage de carbone. Ainsi la distribution de subvention pour l'intégralité de la durée de vie du projet fait-elle débat au sein des associations et de la classe politique anglaise.

En descendant vers le pôle local, nous découvrons un manque de **légitimité politique** à cause de l'absence de transparence dans les processus de décision concernant le soutien du gouvernement au projet de Drax. Des soupçons de collusions entre la direction de la centrale et des comités nationaux minent encore cette légitimité.

Enfin, dans le pôle local, car impactant directement les riverains des installations industrielles, nous avons décelé un enjeu de **justice sociale**. Comme il fait aussi appel à des principes de justice distributive, nous le plaçons dans les acceptabilités d'interpôles avec une tendance plus locale. Ce sont des accusations de racisme environnemental à cause des rejets polluants des usines de fabrication de pellets proches de communautés noires et défavorisées des États-Unis.

Parmi ces nombreux enjeux, seulement trois nous apparaissent à l'heure actuelle comme d'inviolables verrous dans la trajectoire d'innovation du BECCS. Nous les avons représentés en gras et soulignés sur le graphique ci-dessous. D'abord, l'adéquation technologique du BECCS avec un projet politique de transition durable dans lequel les émissions de carbone ne sont pas seulement compensées, mais réduites à leurs sources. Dans ce projet, le BECCS fait penser à un technofix, c'est-à-dire comme nous l'avons vu au chapitre premier, une solution « miracle » qui nous éviterait de prendre des décisions difficiles sur nos habitudes et l'organisation de la vie économique. Cette démarche d'« évitement des difficultés » est le moteur des critiques de toutes les associations anti-BECCS et est encore signalée par les acteurs pro-BECCS. Elle alimente dès lors la suspicion et les contestations sur le développement de la filière.

Ensuite, la crédibilité commerciale du BECCS est très incertaine. L'absence de marché stable pour les émissions négatives est un blocage sérieux pour les sphères économiques et notamment pour les investisseurs. Bien que les porteurs de projet proposent des solutions comme les subventions de l'État, les marchés volontaires de carbone ou les quotas d'émissions de l'ETS, aucune n'apparaît suffisamment rassurante pour attirer les investisseurs. Toutes ses sources de revenus existeront vraisemblablement dans un futur proche, mais personne n'a su nous dire qu'elles seraient leur ampleur, leur durée, leur fiabilité et les conditions dans lesquelles elles seront recevables. Cette nébuleuse d'incertitudes obscurcit les projections de déploiement concrètes du BECCS. Les investissements initiaux sont tellement importants (plus de \$2 milliards pour chacun de nos cas d'étude) et les informations sur la rentabilité tellement floues que pour l'instant aucun n'investisseur n'acceptera de s'engager. Tant que des sources de revenus stables, durables et importantes ne sont pas connues, il est fort probable que le BECCS ne trouve pas les fonds nécessaires à son déploiement.

Enfin, des garanties de sécurité pour le transport par pipeline sont en 2023 encore inaccessibles. Le CO² est un gaz dangereux pour la santé, surtout quand il est très concentré comme c'est le cas dans un pipeline et il n'existe encore pas de moyens d'éviter des conséquences sanitaires en cas d'accident sur un pipeline. L'absence de procédure d'urgence ou de cheminée de détournement du gaz en cas de rupture du tuyau entraînerait une accumulation léthale de dioxyde de carbone autour de la fuite en quelques minutes. C'est exactement ce qui est arrivé dans le village de Satartia dans le Mississippi, USA en février 2020. Le pipeline d'une installation CCS s'est rompu entraînant l'hospitalisation de 45 personnes et l'évacuation de plus de 200 habitants¹⁷⁷. Cet accident dévoile le manque de réglementations adaptées au transport du dioxyde de carbone. S'il est sécurisé de faire

¹⁷⁷ Consulté sur le site d'information américain NPR :

<https://www.npr.org/2023/05/21/1172679786/carbon-capture-carbon-dioxide-pipeline>

voyager du gaz naturel sur de longues distances dans des tuyaux, ce n'est pas encore le cas pour le CO₂. En plus d'être un blocage au niveau des autorisations administratives comme c'est déjà le cas sur notre terrain anglais, ce type de risque pourrait facilement mobiliser les associations et les riverains contre le développement des projets BECCS.

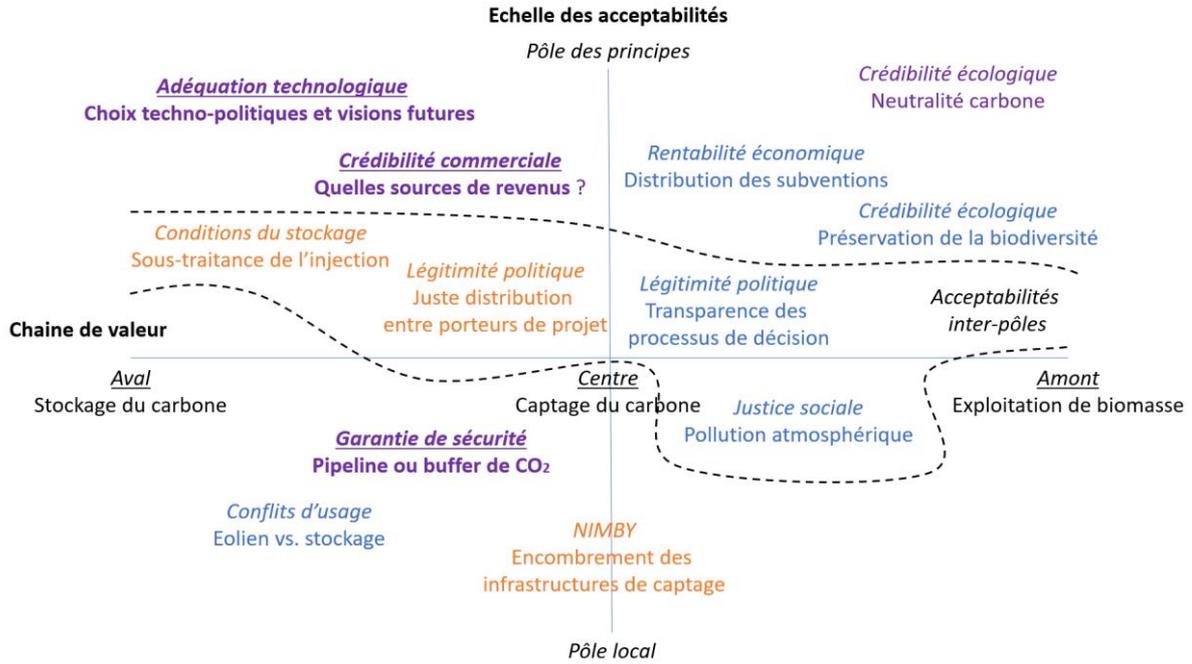


Figure 64: Problématiques d'acceptabilité sociale positionnées sur l'échelle des acceptabilités et la chaîne de valeur du BECCS (violet - les problématiques communes aux 2 projets, orange - celles propres à la Suède, bleu - celles propres au Royaume-Uni), Auclair

Avec cette cartographie des acceptabilités, nous sommes désormais en mesure d'établir des corrélations entre les variations contextuelles et les acceptabilités qui sont propres à chaque pays comme entre les similitudes et les acceptabilités communes.

III. Un contexte déterminant... mais pas partout

III.1. Des positions dépendantes plus de la technologie que des contextes

Une des premières remarques évidentes sur le positionnement des acceptabilités est qu'indépendamment du contexte, nous remarquons que leur distribution est majoritairement plus proche du pôle des principes que du pôle local. En effet, nous comptons huit enjeux principalement de principes pour quatre plus locales. Plusieurs raisons expliquent cette bascule des acceptabilités vers les principes. D'abord, la relative discrétion de la technologie BECCS encore très peu déployée et largement méconnue de la société civile laisse supposer que toutes les problématiques locales n'ont pas encore émergé. En l'absence de projets intégrés sur le terrain, il n'y a pas de raison que des problèmes apparaissent. Une autre raison serait la primauté des questions de principe dans le déploiement du BECCS. Cette technologie poserait moins de problèmes locaux que ne le pensent ses promoteurs. Le NIMBY ne serait donc pas le principal obstacle contrairement aux nombreuses incertitudes ou contradictions sur les promesses politiques, économiques et écologiques. L'acceptabilité de cette technologie repose donc majoritairement sur les principes qui la sous-tendent plutôt que sur ses modalités d'intégration locales.

Ensuite, nous remarquons une distribution presque égalitaire entre les acceptabilités en amont et celles en aval de la chaîne de valeur. Cinq se trouvent en amont alors que six sont en aval, la dernière enfin est au centre, car elle concerne directement l'unité de captage du dioxyde de carbone. Nous en déduisons que l'acceptabilité générale du BECCS relève autant de l'amont que de l'aval de sa chaîne de valeur. Aucune partie n'est plus ou moins problématique qu'une autre. Bien que l'amont, et particulièrement le sujet de l'exploitation de la biomasse, occupe plus l'espace médiatique et académique que l'aval (Hansson et al, 2022), l'enquête de terrain nous apprend que cette différence de visibilité n'est pas corrélée à une différence d'importance entre les parties amont et aval. L'acceptabilité du BECCS se jouera autant sur la production de bioénergie que sur le captage et le stockage du dioxyde de carbone. Les promoteurs, en déplaçant les zones de stockage loin des côtes, n'ont pas éliminé contrairement à leurs intentions les enjeux d'acceptabilité de cette partie de la technologie.

Enfin, nous remarquons que les acceptabilités d'interpôles qui mêlent à la fois des enjeux de principe et des problématiques locales forment la catégorie la plus contextualisée puisqu'elles ne regroupent que des acceptabilités propres à chaque projet. Comme nous le verrons par la suite, elles reflètent directement les effets de dépendance au sentier des décisions politiques nationales. Elles sont ainsi très caractéristiques de l'environnement politique d'un pays et témoignent comme l'a démontré

Bellamy (2019) de l'influence de l'appréciation et de l'effet des mesures politiques de soutien à une technologie sur l'acceptabilité de celle-ci.

III.2. Des acceptabilités propres peu réparties et très politisées

III.2.1. Une distinction entre l'amont et l'aval très marquée

En regardant les acceptabilités propres à la Suède et au Royaume-Uni, nous remarquons que les acceptabilités britanniques se concentrent majoritairement sur la partie amont avec quatre en amont et une seule en aval. De l'autre côté, les acceptabilités suédoises se rassemblent toutes les trois en aval, avec une mention spéciale pour celle sur l'encombrement de l'unité de captage qui occupe une position centrale. Le contexte plus *fossilisé* de la Grande-Bretagne favorise l'aval de la chaîne de valeur alors que le contexte plus *forestier* de la Suède privilégie l'amont.

La *fossilisation* de l'environnement sociopolitique britannique est un avantage pour le développement de l'aval de la chaîne de valeur du BECCS, c'est-à-dire pour le transport et le stockage de carbone. De la perspective de la matérialité, des gisements déplétés bien connus des acteurs nationaux sont à proximité des côtes du pays. La configuration d'acteurs est propice avec des universitaires qui sont, depuis une décennie, à la pointe des recherches sur le CCS, des acteurs industriels du pétrole et du gaz qui maîtrisent les compétences nécessaires et des administrations rodées pour ce type d'activité. Le style politique est encore adapté avec une stratégie nationale centralisée de développement en cluster à même de réduire les coûts et catalyser les acteurs autour d'un objectif clairement défini. Les législations en vigueur sont aussi favorables à ce type d'opération. Les représentations collectives sont favorables puisque les décideurs allient indépendance énergétique et croissance économique dans la poursuite des activités pétrogazières pour la décarbonation nationale. En somme, comme nous le disait un consultant britannique, le Royaume-Uni est parfaitement équipé pour le CCS, car il suffit simplement d'inverser le sens du fluide dans les tuyaux en passant de l'extraction à l'injection.

It's going to be like the oil and gas industry in reverse! We have the expertise, we have the infrastructure, we have all the energy company majors who know how to do all this! So, it's not exactly like new technology, it already exists. [British consultant from PGS, propos recueillis par Auclair, 2022]

En revanche, ces nombreux avantages hérités du passé fossile de l'Angleterre deviennent autant d'obstacle pour le développement de l'amont de la chaîne. La *fossilisation* du système sociotechnique de production de l'énergie a entraîné un type particulier de rapport à l'énergie, qui fonctionne très bien pour les sources fossiles, mais beaucoup moins bien pour d'autres sources. La facilité de stockage et de transport du charbon se retrouve déjà fortement contrainte par les

caractéristiques de la biomasse, qui craint l'eau et commence à se putréfier au bout de quelques semaines. L'abstraction du temps et de l'espace entre les offres de production et les besoins de consommation dont ont bénéficié les systèmes basés sur des sources fossiles (Malm, 2017) n'est plus possible pour la biomasse. Les décideurs politiques comme les industriels britanniques peinent à intégrer ces nouvelles contraintes et c'est là, l'origine des obstacles les plus importants au développement d'une chaîne amont du BECCS.

Cross et al. (2021) ont comparé les drivers et obstacles au développement de la bioénergie en Finlande, en Suède et en Grande-Bretagne et leurs conclusions vont en ce sens. À leurs yeux, la Suède ne présente aucun obstacle au développement de la bioénergie alors que les nombreux et principaux obstacles au Royaume-Uni sont d'ordre politique. L'instabilité et l'incertitude sur le paysage politique et législatif, l'attitude « morose » (*lacklustre* en anglais) du gouvernement ainsi que les variations sur les règles de soutien à l'égard des énergies renouvelables sont au cœur des enjeux de la filière de bioénergie. Ajoutons à cela, comme nous l'avons déjà vu, des ressources domestiques très insuffisantes.

La principale incitation au développement de la bioénergie dans les deux pays est constituée par les directives européennes sur les énergies renouvelables et ses objectifs inhérents. Ainsi, le rôle des objectifs de l'UE dans la définition de l'agenda du secteur est bien reconnu, mais avec le Brexit, il est probable que cette incitation s'affaiblisse au Royaume-Uni laissant peu d'espoir pour le développement de cette filière.

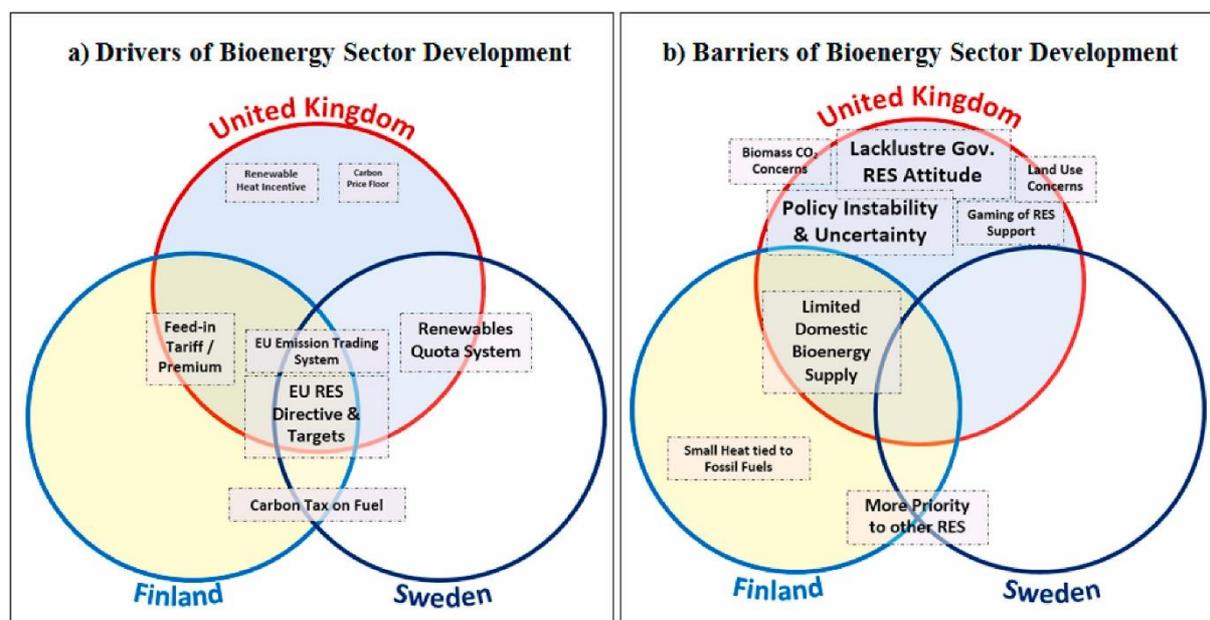


Figure 65 : Comparaisons des obstacles et incitations au développement de la bioénergie au Royaume-Uni, en Suède et en Finlande, Cross et al. 2021

La Suède est dans une situation complètement opposée puisque l'amont de la chaîne de valeur ne pose aucune difficulté tant du point de vue de son développement que de son acceptabilité alors que son aval est plus problématique. L'externalisation du stockage risque de soulever des complications qui ne se poseront sans doute pas aux Britanniques comme la dépendance au pays stockeur, les conditions éthiques dans lesquelles sont réalisées le stockage et enfin, le partage de la comptabilité du carbone. Ce type de dépendance étant complètement inédit, nous n'avons pas encore de recul suffisant pour en mesurer les risques.

À la lumière de ces observations sur les spécificités nationales des parties de la chaîne de valeur, il semblerait logique que des pays collaborent en se partageant les responsabilités amont et aval selon leurs points forts pour maximiser les chances de déploiement du BECCS. Cette fragmentation est déjà le choix qu'a fait la Suède, mais le Royaume-Uni s'y refuse par crainte d'un *cross-chain risk*, c'est-à-dire le défaut d'un élément de la chaîne de valeur entraînant l'arrêt du fonctionnement de l'ensemble de la chaîne. Pour éviter ce risque bien reconnu par les Britanniques, le projet de Drax cherche à intégrer le plus possible la chaîne de valeur au sein d'une même compagnie pour garantir les échanges entre les différentes parties. La crainte d'une dépendance critique à un élément critique pousse les promoteurs comme les décideurs anglais à privilégier l'intégration complète de toutes les compétences de la chaîne de valeur comme nous l'a confirmé un analyste du ministère de l'Industrie.

But one of the largest challenges associated with CCS is Cross-Chain risk, which is business integration risk, where essentially you have a chain of normally independent partners in the CCS program and it is difficult to square risks on trust between those partners. For example, if an entrepreneur wants to start capturing their emissions from their cement works and steelworks, whatever, or that power plant, they can't do it unless they know there is a storage system. If two private companies start going down that process together, they typically do not have sufficient interactions, trust, legal protections such that they can make a prolonged commitment and get all the way down the path because there's too many risks on either side. They are too reliant on each other. [Analyste CCS au ministère de l'Industrie britannique, propos recueillis par Auclair, 2022]

Tant que le BECCS n'est pas en opération, nous ne sommes pas encore en mesure d'évaluer les avantages et inconvénients de ces deux stratégies de déploiement différentes, mais il apparaît avec certitude que ce ne sont pas des choix anodins. L'externalisation à la suédoise ou l'intégration à la britannique poseront les jalons d'un déploiement à plus large échelle de la technologie, selon leurs succès respectifs.

III.2.2. Les acceptabilités nationales très représentées entre les deux pôles

Sur les quatre acceptabilités que nous avons positionnées à l'interpôle, toutes sont propres aux projets nationaux, dont deux qui concernent directement la légitimité politique. Hormis la question commune de principe sur l'adéquation technologique du BECCS avec la vision du futur qui relève également d'une légitimité globale, nous remarquons que la légitimité de cette technologie est aussi l'affaire des États qui la mettent en œuvre et surtout de la manière dont ils le font.

Rejoignant Bellamy (2019), nous constatons que l'acceptabilité d'une technologie dépend aussi du type d'instrument d'action publique qui la soutient et surtout des procédures par lesquelles ceux-ci sont choisis. Un manque de transparence dans le processus de décision au Royaume-Uni entraîne une perte de confiance dans le projet technologie alors qu'un manque de concertation entre les parties prenantes en Suède produit un sentiment d'injustice parmi les promoteurs.

Au Royaume-Uni, la compétition du CCS pour les surfaces marines comme pour les subventions pourrait également révéler un défaut de légitimité politique. En réalité, celui-ci prend partiellement sa source dans un manque de légitimité globale du BECCS dans la lutte contre le réchauffement climatique. La décarbonation du BECCS qui intervient en aval du circuit économique crée un débat que ne suscite pas par exemple, les éoliennes dont l'action de décarbonation se trouve en amont de l'économie.

IV. Les enjeux d'acceptabilité propres à la technologie du BECCS

Après avoir observé l'influence des contextes nationaux dans les enjeux de huit acceptabilités propres à chaque projet, il nous reste à expliquer les quatre acceptabilités communes. Parmi celles-ci, la seule du côté du pôle local a rapport avec la sécurité du transport du CO₂ ou de son stockage temporaire dans les ports gaziers. Contrairement à une idée largement répandue chez la majorité des participants aux entretiens, les propriétés physico-chimiques du dioxyde de carbone rendent les conditions de son transport complètement différentes par rapport à celles des hydrocarbures. Même si, du point de vue strictement physique ce gaz est parfaitement transportable (plusieurs installations industrielles de petite taille existent dans d'autres secteurs que celui du stockage de carbone), les conditions de sécurité et de fiabilité pour des installations de grande échelle à travers des zones habitées n'existent simplement pas. Après quelques années de recherche, les acteurs académiques, administratifs et industriels peinent encore à les trouver. Ce qui nous laisse penser qu'il ne « s'agira pas simplement d'inverser le sens du fluide dans les tuyaux » pour assurer la création de grands réseaux de transport de CO₂. Ce maillon essentiel de la chaîne de valeur risque, par conséquent,

d'être à court et moyen termes, un facteur limitant pour le développement du BECCS dans le monde entier. La solution ne serait pas seulement d'ordre technologique, mais sera plutôt organisationnelle et administrative avec des questions telles que : comment organiser le transport du CO₂ de manière à maîtriser le plus possible les risques en cas d'accidents ? ou bien : quels niveaux de risques sont-ils acceptables d'autoriser pour cette activité ? Les réponses à ces interrogations peuvent encore se trouver dans les choix des pays qui déploient les installations sur leur territoire. Ce qui n'est pas le cas des acceptabilités suivantes qui décrivent des réalités sur lesquelles le gouvernement d'un pays a peu de contrôle.

Ainsi, loin de cette problématique locale, les trois autres acceptabilités communes se rapprochent du pôle des principes. La plus proche de l'aval dépend directement du principe de fonctionnement du BECCS et de l'adéquation de ce principe avec une vision de la transition énergétique. Dans le cadre d'un scénario d'évolution de la société vers un découplage entre les émissions de carbone et la production économique, la technologie BECCS apparaît au mieux, inadéquate et au pire, contre-productive. L'action sur les émissions en aval du BECCS risque, en effet, de verrouiller une forme de couplage émissions/économie ou *business as usual*. Or cette conséquence implique un défaut de légitimité globale de la technologie pour une transition énergétique à la fois sobre et décarbonante en amont de la production électrique. Malgré des tentatives d'intégration du BECCS dans des stratégies globales de décarbonation dans lesquelles celui-ci a un rôle marginal pour les seules émissions difficiles à éviter, sa légitimité fait encore débat. Paradoxalement, c'est aussi parce qu'il n'y a pas eu de débat sur l'intérêt de cette technologie dans la société civile que sa légitimité fait défaut.

La légitimité n'est pas le seul attribut en défaut, la crédibilité surtout commerciale est également défaillante. Cette deuxième acceptabilité de principe commune en aval regarde directement l'intérêt économique du BECCS pour lequel il n'existe à l'heure actuelle aucun marché à émissions négatives. Vouloir vendre un produit qui ne se vend pas n'est évidemment pas la décision la plus saine qui puisse être prise. Même si toutes les personnes impliquées dans les technologies à émissions négatives sont convaincues qu'un tel marché va apparaître à cause de la pression réglementaire contre les émissions de carbone, aucune d'entre elles n'est en mesure de connaître l'échéance et surtout la forme d'un tel marché. Sur ce point, le seul organisme en mesure de créer un tel marché pour nos cas d'étude est l'Union européenne, les gouvernements nationaux sont individuellement impuissants.

La dernière acceptabilité commune en amont cette fois relève de la comptabilité du carbone et particulièrement des règles afférentes au cadre légal de cette comptabilité. Le fait de considérer la biomasse comme neutre en carbone est à l'origine des nombreuses politiques en faveur de la

bioénergie. Or les acteurs académiques et associatifs montrent que la combustion de biomasse n'est pas climatiquement bénéfique, quel que soit son origine ou son type d'exploitation. Le cadre légal actuel est une abstraction approximative des multiples réalités et en niant ces réalités, il affaiblit la crédibilité écologique de la technologie dans son ensemble. Une évaluation détaillée des conditions dans lesquelles la bioénergie participe réellement à la lutte contre le réchauffement climatique est nécessaire au niveau de l'Union européenne qui devrait ensuite intégrer celles-ci dans un cadre unifié de comptabilité du carbone.

Finalement, nous pensons que certaines des acceptabilités proprement anglaises comme celles de justice sociale ou de préservation de la biodiversité ne sont pas seulement dépendantes d'un contexte national, mais aussi d'une échelle de développement du BECCS. Les dimensions de la centrale suédoise étant dix fois inférieures à celles de l'anglaise, les quantités de combustible qu'elle requiert sont proportionnées. La pression de son approvisionnement sur l'environnement forestier est par conséquent dix fois moins importante, ce qui peut rendre les problématiques citées actuellement invisibles ou négligeables. Si plusieurs nouvelles centrales BECCS venaient à être construites en Suède, la pression sur la biomasse s'accroîtrait davantage et le respect des populations indigènes comme la préservation de la biodiversité s'en trouveraient négativement impactés.

Certains signaux faibles de ces conséquences apparaissent déjà avec les menaces que subissent les peuplades Sami à cause de l'expansion des zones d'exploitations forestières sur les zones d'élevages de leurs troupeaux de rennes. De plus, les contestations des Sami de voir leurs terres traditionnelles réquisitionnées pour nourrir les projets de transitions écologiques entraînent une montée croissante du racisme envers cette ethnie¹⁷⁸. La compétition pour les ressources du Grand Nord entre les forestiers suédois et les Samis sera donc fortement aggravée par l'augmentation d'échelle du BECCS dans ce pays (Parkatti et Tahvonen, 2021). Ainsi les problématiques propres à la technologie ne seraient pas au nombre de quatre, mais de six et elles dépendraient non seulement de la technologie en elle-même, mais aussi de son échelle de déploiement.

¹⁷⁸ <https://www.bloomberg.com/features/2023-sweden-indigenous-sami-green-energy/>

Conclusion : Une technologie controversée, quel que soit le contexte

Cette comparaison exhaustive des contextes et des acceptabilités des deux cas d'études confirme que l'acceptabilité sociale d'une technologie ne dérive pas exclusivement de la nature de technologie. Elle est une réalité multiple dépendant de nombreux facteurs dont la nature de la technologie est un élément, mais pas le seul. L'organisation techno-politique des pays d'implantation joue un rôle prépondérant.

Un pays ayant les moyens et l'ambition de développer la foresterie ainsi que l'usage de biomasse rencontrera moins voire aucun débat sur la partie amont de la chaîne de valeur du BECCS. Un autre pays qui se sera concentré sur les compétences nécessaires à l'exploitation des hydrocarbures et à la consommation de ceux-ci verra moins de difficultés pour le déploiement de l'aval du BECCS. Toutefois, ces deux pays auront quand même à faire face à des débats communs sur l'utilité ou la pertinence du BECCS dans la lutte contre le réchauffement climatique. Ainsi des avantages sur la chaîne de valeur n'épargneront pas les décideurs d'un débat sur la nécessité du BECCS et surtout de son rôle dans l'effort de réduction des gaz à effet de serre.

De plus, nous remarquons avec nos cas qu'un pays ayant un avantage sur l'amont de la chaîne de valeur a un désavantage sur l'aval et vice-versa tant les deux parties de cette technologie semblent antinomiques. Les usages énergétiques de la biomasse sont directement concurrents de ceux des énergies fossiles. Les deux combustibles sont utilisés de la même manière dans des centrales presque semblables. Les infrastructures qui les utilisent varient peu comme en témoigne la conversion de Drax. Ainsi un pays qui privilégierait l'un devra aussi dans son organisation politique et son mix énergétique défavoriser l'autre. C'est pourquoi il est difficile pour l'Angleterre de créer un système sociotechnique favorable à l'usage de la biomasse.

Enfin, nous pouvons affirmer que la majeure partie des controverses ainsi que les plus importantes d'entre elles se trouvent être principalement des questionnements de principe sur la filière en général et non sur les modalités d'intégration locale des projets. Ainsi les efforts des promoteurs pour convaincre les voisins des projets du bien-fondé de la technologie risquent bien d'être vains. La tenue de débat public sur la manière d'intégrer le BECCS dans la transition énergétique ainsi que sur une échelle de déploiement adaptée dans un mix de solution ciblant à la fois la limitation des émissions à leurs sources et leur compensation a-posteriori donnera certainement de meilleurs résultats.

Conclusion

L'acceptabilité du BECCS en question

Quel déploiement pour l'avenir ?

Après avoir examiné les particularités des contextes et les spécificités des acceptabilités de l'intégration de la technologie BECCS à travers deux projets Nord européens, la centrale de Drax au Royaume-Uni et la centrale KVV8 en Suède, il est temps de rassembler les conclusions essentielles de ce travail en quatre points essentiels.

En premier lieu, nous avons remarqué que contrairement aux conceptions de nombreux promoteurs de cette technologie, les problématiques qualifiées de NIMBY sont très minoritaires voir presque négligeables. Notre étude n'a recensé qu'une seule acceptabilité qui pourrait prétendre appartenir à cette catégorie sur un total de douze problématiques. Cet enjeu qui concerne la construction d'une unité de captage de carbone proche d'une zone résidentielle n'est même pas encore un frein au développement puisqu'aucun permis de construire n'a été déposé. Elle apparaît sous la forme d'une crainte sérieuse pour les promoteurs suédois et structure leur gestion de projet. Les obstacles actuels et réels du BECCS sont à traiter comme des problématiques de principe qui regardent les promesses de la technologie ou encore les processus de décisions politiques pour soutenir son développement bien plus que le choix du lieu de son implantation.

Ensuite, nous avons découvert que selon l'environnement sociopolitique national d'intégration du BECCS, les acceptabilités variaient le long de sa chaîne de la valeur. L'Angleterre, avec un passé énergétique presque complètement tourné vers l'exploitation et l'usage des énergies fossiles, a des avantages pour développer la partie aval de la chaîne, mais rencontre des obstacles conséquents pour la partie amont. La Suède, à l'inverse, avec un passé bien moins fossile et plus renouvelable, connaît des facilités pour la partie amont et est obligée de prendre des risques pour la partie aval. Ainsi la collaboration entre des pays chacun spécialisé dans une partie de la chaîne de valeur semble être la solution la plus optimale pour la réalisation du BECCS même si cela induit des risques d'intégration entre les différentes composantes de cette chaîne.

De plus, ces deux projets sont d'abord politiques avant d'être économiques. Chacun soutient la stratégie nationale de décarbonation de leurs gouvernements respectifs. Cette dimension très politique des projets donne naissance à des problématiques propres à chaque pays sur les formes de soutien politique pour cette technologie. Comme Bellamy (2019), nous confirmons le rôle essentiel du choix de l'instrument d'action publique et surtout du processus de décision qui amène à ce choix dans l'acceptabilité de la technologie tant par les promoteurs que par la société civile.

Enfin, les enjeux d'acceptabilités les plus nombreux ont trait au rôle du BECCS dans la stratégie mondiale de lutte contre le réchauffement climatique. Ils ne peuvent être résolus que par des instances internationales ou transnationales et non individuellement par des gouvernements nationaux. Parmi ceux-ci, il est question de la forme de la transition. Doit-elle être un moyen de

continuer le *business as usual* en agissant seulement en bout de chaîne ? ou doit-elle être une réforme en profondeur de nos modes de consommation et de rapport aux ressources naturelles ? De ces réponses découleront ensuite le rôle du BECCS, l'échelle nécessaire de son développement, la façon de comptabiliser les émissions négatives et si cela est possible la création d'un marché pour celles-ci.

I. *Des enrichissements de la littérature sur l'acceptabilité du BECCS*

Pour mener à bien notre analyse, nous avons mobilisé plusieurs travaux de différents auteurs et il convient, au terme de notre étude, de prendre du recul vis-à-vis de ces auteurs pour évaluer l'adéquation entre leurs publications et nos conclusions. L'enrichissement le plus évident de notre travail est évidemment d'apporter un éclairage sur les liens entre le contexte sociopolitique d'un pays et le développement de la technologie BECCS dans celui-ci.

Contrairement aux conclusions relatives à une invisibilisation des controverses de l'aval au profit de l'amont de la chaîne de valeur, notre enquête a montré que le BECCS était critiqué bien au-delà de sa seule partie amont. L'exploitation de la biomasse n'empêche pas les oppositions de se concentrer aussi sur les enjeux globaux de la filière, les modalités du soutien politique des projets ou encore les risques du transport du dioxyde de carbone.

La bioénergie, c'est-à-dire l'usage de la biomasse pour produire de l'énergie n'est pas le ferment de discorde du BECCS. Nous avons interrogé cette possibilité dans notre état de l'art avec les travaux notamment de Donnison et al. (2023) ou Hansson et al. (2022). Avec notre enquête, nous reconnaissons le potentiel de controverse qu'elle représente mais loin de rendre ces difficultés structurelles, nous pensons qu'elles sont conjoncturelles. Exploiter de la biomasse pour de l'énergie n'est pas en soi un facteur bloquant pour le déploiement du BECCS. Nos deux cas d'étude le prouvent, car bien qu'ils ne soient pas (encore) équipés d'unité de captage, ils fonctionnent tous deux complètement à la biomasse.

Dans les faits, c'est un type particulier d'exploitation qui dans un contexte spécifique risque de verrouiller l'innovation. Le terrain suédois nous montre que la bioénergie, recouvrant la partie amont du BECCS, telle qu'elle produite à Stockholm ne présente aucun verrouillage. Le terrain anglais montre des limites, mais pas de verrous. Néanmoins, cette forme de production apparaît comme une interrogation sur l'ensemble de la filière BECCS, c'est-à-dire pour un développement à plus grande échelle. La question de la bioénergie n'est pas bloquante, mais celle de son échelle

l'est. Celle-ci n'est donc pas un ferment de discord pour cette technologie, mais une controverse parmi d'autres pour la filière.

De plus, le NIMBY, souvent confondu avec l'acceptabilité sociale et décrit dans la littérature des promoteurs comme « la principale contrainte » au déploiement des projets, est complètement inadéquat sur nos cas d'étude. Sur la centrale anglaise, aucune communauté locale n'a montré de réticences au projet tant de conversion à la biomasse que de captage du CO₂. Les oppositions sont intégralement menées par des activistes écologistes vivant loin de la centrale et les riverains ne prennent pas part à leurs revendications. Sur la centrale suédoise, en se basant sur d'autres projets industriels entamés à proximité, il est probable qu'une association de riverains se mobilise pour s'opposer à la construction d'une unité de captage, mais ce n'est pas encore le cas. Avant que cela n'arrive, le porteur de projet a d'autres verrous à ouvrir comme celui des sources de revenus et des autorisations administratives sur la sécurité des tampons de stockage portuaire. L'emphase que les promoteurs placent sur le NIMBY est disproportionnée devant la complexité des autres enjeux. En effet, le NIMBY revête un caractère probable et moins bloquant que d'autres problématiques pour le déploiement du BECCS.

Une autre partie de la littérature scientifique (Krause et al., 2014 ; Mabon et al., 2015 ; Gough et Mander, 2019 ; Dütschke, 2011) que nous avons détaillée dans l'état de l'art montrait que l'acceptabilité d'une innovation dépendait de l'histoire et de la culture du territoire dans laquelle elle s'implantait. Sans contredire ces conclusions, nous les complétons en affirmant que certains enjeux de l'acceptabilité, parmi les plus importants, s'attachent à la filière technologique plus qu'au projet territorialisé. Ils sont indépendants du territoire et concernent les grandes raisons pour lesquelles cette technologie est promue. Dans nos cas, ce sont les axes globaux de la légitimité politique du BECCS telles que l'adéquation de la technologie à une transition écologique durable ou l'incertitude sur la neutralité carbone du procédé complet qui interrogent et alimentent les controverses les plus profondes. Or ces enjeux, comme la crise globale du réchauffement climatique pour laquelle le BECCS veut être une solution, ne pourront trouver des réponses que globalement.

Après notre recherche, nous constatons bien que l'acceptabilité sociale du BECCS ne dépend pas de l'appréciation des riverains. De nombreux autres facteurs sont à prendre en compte bien avant la réception du projet par les communautés locales et ceux-ci ne concernent pas seulement le projet, mais aussi la filière dans son ensemble. Les porteurs de projet se retrouvent ainsi contraints par des phénomènes qui les dépassent et pour lesquels leurs moyens d'action sont limités.

En élevant notre regard par une montée en généralité, nous constatons que ces problématiques ont trois causes-racines.

II. Les trois principaux obstacles socio-politiques au déploiement

Le BECCS bien qu'il semble être nécessaire pour lutter contre le réchauffement climatique ne sera pas déployé sans complications. Suite à l'identification de celles-ci dans le chapitre précédent, nous montons en généralité et identifions trois causes profondes à la majorité des problématiques.

II.1. Une échelle de déploiement sous contraintes

La première provient de l'échelle de déploiement du BECCS. Nous avons mis en lumière le fait qu'entre une très grande et une petite échelle, l'acceptabilité n'était pas la même. A partir d'un certain niveau la quantité de ressources utilisées par le BECCS entre en concurrence avec d'autres usages et ne permet pas une exploitation durable et contrôlée de ces ressources. Plusieurs problématiques telles que celles liées à la crédibilité écologique, à la justice sociale ou aux conflits d'usage apparaissent alors. L'écart entre nos cas d'étude, qui va du simple au décuple, appelle à approfondir les recherches tant sur les modélisations en besoins de ressources que sur les enjeux politiques locaux, nationaux et globaux de ces variations d'échelles.

Lorsque nous évoquons les ressources du BECCS, nous pensons tant à l'amont qu'à l'aval de la chaîne de valeur. La biomasse n'est pas la seule concernée, la consommation d'eau pour les besoins de la production, mais surtout les espaces de stockage géologique du carbone sont aussi à surveiller. Bien que ceux-ci soient vastes, ils ne sont pas illimités. Plusieurs paramètres concourent à limiter les possibilités de stockage comme par exemple, la présence naturelle d'autres fluides dans le réservoir, le partage des capacités entre différents pays, les difficultés des mesures géologiques en eau peu profonde ou la concurrence sur les surfaces marines avec d'autres usages.

De plus, ce niveau n'est pas une valeur absolue applicable à tous les pays, mais plutôt une valeur relative dépendante de l'intrication des contextes. Des recherches ultérieures montreront qu'il n'est pas unique pour un même pays, mais composé de diverses variables relativement au type de ressources concernées et à leurs méthodes d'exploitation. Par exemple, le cas anglais a montré qu'avec une unique installation visant à produire huit millions de tonnes d'émissions négatives et exploitant 100 % de la biomasse à l'étranger, le niveau d'échelle générerait des manques d'acceptabilité tant en amont qu'en aval. À l'inverse, le cas suédois avec une installation de 0,8 million de tonnes d'émissions négatives et exploitant 60 % de la biomasse nationalement et 40 % dans d'autres pays montre que le niveau d'échelle n'est pas encore générateur de manque d'acceptabilité. Pour l'aval, nous ne savons pas encore exactement comment se déroulera

l'externalisation du stockage, mais la nécessité de partager l'espace entre les différents clients risque aussi d'imposer une nouvelle limite sur les quantités stockables.

Malgré sa plus petite taille, la centrale suédoise n'est pas non plus à l'abri d'un « dépassement » de niveau sur l'amont de sa chaîne de valeur. Dans le chapitre précédent, nous avons vu que l'extension de la foresterie suédoise vers le Nord engendrait déjà des conflits avec les indigènes et mettait en danger la biodiversité locale. Certes les industries du papier, du chauffage et de l'ameublement sont en cause dans cette poussée de la demande en biomasse, mais le BECCS augmente aussi la pression sur cette ressource. Cet exemple illustre bien le caractère non seulement quantitatif, mais aussi qualitatif des niveaux d'échelle. La ressource forestière est en quantité suffisante dans le nord de la Suède, mais une partie de celle-ci n'est pas simplement une ressource, elle est un patrimoine culturel pour des communautés qui en ont besoin pour survivre. Nos cas d'étude témoignent tous deux de la gravité du bon choix de l'échelle de déploiement pour s'intégrer au contexte national.

De ce point de vue, le BECCS ressemble à « *un éléphant dans une boutique de porcelaine* », c'est une technologie encombrante par ses besoins en ressources et qui doit s'implanter dans des environnements déjà très contraints. Les marges de disponibilité d'échelle étant relativement faibles sur l'ensemble de la chaîne de valeur, les recherches futures pointeront vraisemblablement la répartition plutôt que la concentration des capacités de production entre différentes localisations et contextes d'intégration. Pour s'adapter à cette multitude d'environnements, les modalités d'intégration de la technologie seront aussi multiples. Ainsi même si le BECCS est une technologie globale, il est préférable que son déploiement ne soit pas uniforme, mais diversifié.

II.2. Une chaîne de valeur étendue et difficilement intégrable par un seul acteur

La deuxième cause profonde des complications se trouve dans l'étendue de la chaîne de valeur tant par la multiplicité des compétences requises que par les grandes distances impliquées et la diversité des ressources. Cette étendue n'est pas une difficulté en soi, mais notre enquête a montré qu'aucun des deux pays étudiés n'était en mesure de maîtriser intégralement la chaîne de valeur. Selon leurs contextes socio-politiques, les pays ont des points forts dans le déploiement d'une partie (aval ou amont) et des points faibles dans l'autre partie. La solution est alors d'externaliser la partie faible pour se focaliser comme dans une logique de Pareto sur le secteur qui est le mieux maîtrisé.

La Grande-Bretagne est, par exemple, obligée de récolter la biomasse outre-Atlantique alors que la Suède doit stocker le dioxyde de carbone dans les eaux territoriales d'un autre pays, probablement la Norvège. Le BECCS requiert, donc, pour sa mise en œuvre une collaboration internationale. Au-delà des complications légales et organisationnelles de ce type de travail, le risque de défaut d'un

ou de plusieurs des partenaires augmente considérablement. Ce risque appelé *cross-chain risk* par les britanniques est un des premiers blocages au développement. Le BECCS ne peut pas produire d'émissions négatives sans le fonctionnement intégral de sa chaîne de valeur d'où une dépendance accrue des parties les unes par rapport aux autres. Si l'une des parties est défectueuse, c'est l'ensemble de la chaîne qui s'arrête. Ainsi, si un pays réalise des investissements conséquents pour bâtir l'amont, qu'il dépend d'un autre pays pour assurer l'aval et que celui-ci ne peut honorer ses engagements, alors l'ensemble des sommes dépensées l'a été pour rien. Nous nuancions nos propos pour le développement de l'amont, la production de bioénergie, qui peut quand même être utilisée sans l'aval pour produire de l'énergie, mais pas pour produire des émissions négatives.

De plus, une telle collaboration peut aussi se révéler vectrice d'inégalités et de tensions géopolitiques. Les récents événements en Ukraine ont montré que certains pays pouvaient utiliser leurs ressources comme des outils de pressions diplomatiques. Sans aller jusqu'à l'état de guerre, il est courant qu'un pays manipule ses droits de douane pour pénaliser ses concurrents commerciaux ou sanctionner un pays non amical. Étant donné la sensibilité économique du BECCS, un tel mouvement serait déjà préjudiciable au bon fonctionnement de la technologie. Avec l'externalisation du stockage, le pays doté d'importants espaces de stockage pourrait tirer profit du besoin d'autres pays en augmentant ses prix ou en exerçant des contraintes diplomatiques. De telles possibilités dissuadent les acteurs de se lancer dans le déploiement du BECCS.

Hormis les États-Unis, la Russie, le Brésil qui disposent à la fois des compétences et des ressources pour développer en autonomie autant l'amont que l'aval de la chaîne de valeur, les autres pays auront besoin de coopérer entre eux pour voir émerger le BECCS sur leur territoire. Un monde pacifié et libéralisé dans lequel le commerce entre les pays est facile et peu coûteux fournit plus de chance au BECCS de devenir réalité. Nous pourrions même envisager dans un tel monde que certains pays ne conservent que la fonction de production d'énergie et de captage du carbone pour externaliser l'exploitation de la biomasse et le stockage du carbone. Une telle démarche permettrait de réaliser des économies de coûts importantes qui rendraient le BECCS plus facilement accessible tant économiquement que politiquement.

Mais alors que la crise climatique nécessiterait une coopération étroite entre les pays pour être résolue le plus rapidement et efficacement possible, nous assistons plutôt à une compétition pour la décarbonation. Les instances internationales comme la Commission européenne ou les Nations Unies parlent de course vers le Net Zero. Nous retenons de nos deux cas d'études que chaque pays désire être le premier à produire des émissions négatives. Or cette rivalité risque bien de nuire au déploiement du BECCS étant donné l'étendue souvent transnationale de la chaîne de valeur de cette technologie.

Cette dépendance entre pays associée à une rivalité écologique soulève pour les gouvernements des questions de souveraineté technologique qui limite les volontés de soutien en faveur de l'innovation. En effet, comme la chaîne de valeur doit être partagée entre les pays, il en est de même des bénéfices de la technologie. Le pays-investisseur ne récoltera pas les fruits de son investissement ou alors ceux-ci ne seront pas à la hauteur des montants engagés.

La fossilisation du cas anglais illustre comme l'a décrit Andréas Malm (Malm, 2016) le fait que les ressources fossiles facilitaient la capacité d'accaparement par une entité unique qui en génère des bénéfices sans avoir à chercher un consensus avec d'autres entités. De la même manière, si le BECCS est déployable dans un monde pacifié et libéral, les Etats voudront quand même s'assurer du contrôle de leur investissement le plus unilatéralement possible. Pour récupérer des bénéfices, il faudra que tous les pays que traverse la chaîne de valeur trouvent un consensus sur le partage des bénéfices et respectent leurs engagements. Cette nécessité de confiance apparaît comme un risque à travers les lunettes de la diplomatie et complique la gouvernance du BECCS comme l'a fait remarquer (Compagnon, 2019). Il est, en tout cas, certain qu'à défaut pour le moment de bloquer l'émergence du BECCS, elle le ralentit en dissuadant certains acteurs de s'engager.

II.3. Agir en aval de la production d'émissions de gaz à effet de serre, est-ce bien adéquat ?

Enfin le dernier point retenant l'apparition du BECCS est lié à son acceptabilité politique, elle-même directement liée au récit entourant cette technologie. Cette innovation, comme le CCS avant elle, s'appuie sur le postulat qu'il est possible de retirer du dioxyde de carbone de l'atmosphère pour le déposer de manière permanente dans la lithosphère. Si cette opération n'est pas possible, c'est la crédibilité technologique du BECCS qui est remise en question alors que si elle est possible c'est son adéquation avec un projet politique de transition vers une économie émettant durablement moins de CO₂ qui est contestée.

Ce récit de déploiement réduit l'action du BECCS à une intervention en aval des émissions de gaz à effet de serre. Il n'empêche pas les émissions, mais retire celles qui sont déjà dans l'atmosphère. Ainsi les discours de promotion comme d'opposition disent de manière plus ou moins explicite que le BECCS ne limite aucunement la quantité de CO₂ émise par l'activité économique. Si les industries diffusent plus de gaz à effet de serre que le BECCS ne peut en stocker alors le réchauffement climatique va simplement continuer rendant obsolète la raison de l'existence du BECCS. Son déploiement ne garantit donc pas la réduction des gaz à effet de serre, ce qui est pourtant sa raison d'être.

Les opposants au BECCS imaginent même un potentiel *un effet rebond* lié à son de son déploiement sur les quantités d'émissions de CO₂. Cet effet aussi appelé « *paradoxe de Jevons* » du nom de son premier inventeur, désignerait dans notre cas, un phénomène observé lorsque les réductions attendues d'émissions globales de gaz à effet de serre avec la production d'émissions négatives ne sont pas obtenues, voire aboutissent à des sur-émissions, à cause d'une adaptation des comportements et des habitudes de production. Décrit pour la première fois en 1865 en Grande-Bretagne par rapport à l'amélioration de l'efficacité des machines à vapeur qui paradoxalement augmentait la consommation générale de charbon, cet évènement s'applique aussi dans d'autres situations en lien avec des économies d'énergie ou d'exploitation des ressources naturelles.

Le récit qui lie le BECCS à une action exclusivement en aval des émissions présente donc une contradiction évidente qui diminue grandement sa légitimité dans la lutte contre le réchauffement climatique. D'autant que notre étude montre que le BECCS ne pourra pas être déployé à grande échelle à travers le monde à cause des nombreuses limites tant physico-techniques que socio-politiques. Ainsi son action *a posteriori* nous oblige à trouver des alternatives pour réduire durablement les émissions avant que celles-ci ne soient produites. Cette limite inhérente à la technologie pose donc la question d'abord de la priorité qu'il faut lui consacrer : *n'y a-t-il pas d'autres solutions à privilégier pour éviter les émissions directes ?* puis celle de son utilité : *est-ce bien utile d'investir tant d'argent et d'effort dans une technologie qui n'est pas certaine de réduire le réchauffement climatique ?*

Ainsi en dépit des argumentaires des instances internationales comme le GIEC ou l'IEA, le BECCS peine à trouver une place dans les récits sur la compensation carbone. Elaborer un nouveau récit est par ailleurs difficile car le BECCS rejoint le débat des *technofix*, déjà évoqué en introduction, ces solutions technologiques dont les promesses sont attrayantes mais complètement irréalistes. Plus largement que la seule technologie BECCS, ce débat s'appuie sur une contradiction semblable à celle du BECCS. Le développement et l'innovation technologique est une activité économique émettrice de CO₂ dans la grande majorité des cas par les besoins en ressources comme par les procédés industriels de conception et de fabrication. Les technologies climato-bénéfiques ressemblent donc souvent à un oxymore.

Le récit du BECCS reprend à son compte ces contradictions tant sur l'action exclusivement aval des émissions que sur l'utilité de l'innovation technologique dans la lutte contre le réchauffement climatique. Son intérêt, comme celui d'autres technologies de décarbonation, s'affaiblit donc face à des alternatives qui ne présentent pas de récit contradictoire comme celui lié la sobriété.

Bibliographie

I. Sciences sociales et politiques:

Abrahamson, Peter, « The Scandinavian Model of Warfare, Comparing social welfare systems in Nordic Europe and France », MIRE. Paris 1999, ISBN 2-11-091724-5

Adams, J. Stacy. « Inequity In Social Exchange ». In *Advances in Experimental Social Psychology*, édité par Leonard Berkowitz, 2:267-99. Academic Press, 1965. [https://doi.org/10.1016/S0065-2601\(08\)60108-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60108-2).

Aguilar-González, B., Navas, G., Brun, C., Aguilar-Umaña, A., & Cerdán, P. (2018). Socio-ecological distribution conflicts in the mining sector in Guatemala (2005–2013): Deep rooted injustice and weak environmental governance. In *The Extractive Industries and Society* (Vol. 5, Issue 3, pp. 240–254). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.02.002>

Akrich, Madeleine. « La construction d'un système socio-technique. Esquisse pour une anthropologie des techniques ». *Anthropologie et Sociétés* 13, n° 2 (10 septembre 2003): 31-54. <https://doi.org/10.7202/015076ar>

Anderson, Jason, et Joana Chiavari. « Understanding and Improving NGO Position on CCS ». *Energy Procedia* 1, n° 1 (février 2009): 4811-17. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.02.308>.

Andersson, M., & Koster, S. (2010). Sources of persistence in regional start-up rates – evidence from Sweden. In *Journal of Economic Geography* (Vol. 11, Issue 1, pp. 179–201). Oxford University Press (OUP). <https://doi.org/10.1093/jeg/lbp069>

Antal, Miklós. « Post-Growth Strategies Can Be More Feasible than Techno-Fixes: Focus on Working Time ». *The Anthropocene Review* 5, n° 3 (décembre 2018): 230-36. <https://doi.org/10.1177/2053019618794212>.

Aykut, Stefan C. "Gouverner Le Climat, Construire l'Europe : L'histoire de La Création d'un Marché Du Carbone (ETS)." *Critique Internationale*, no. 62 (2014): 39–55.

Aykut, Stefan C., et Aurélien Evrard. « Une transition pour que rien ne change ? Changement institutionnel et dépendance au sentier dans les « transitions énergétiques » en Allemagne et en France ». *Revue internationale de politique comparée* Vol. 24, n° 1 (4 avril 2018): 17-49. <https://doi.org/10.3917/ripc.241.0017>.

Baba, S., & Raufflet, E. (2018). L'acceptabilité sociale : une notion en consolidation. In *Management international* (Vol. 19, Issue 3, pp. 98–114). HEC Montréal. <https://doi.org/10.7202/1043005ar>

Barnaby, Frank. « Acid Rain: UK Policies. » *Ambio*, vol. 17, no. 2, 1988, pp. 160–62. *JSTOR*

Batel, Susana. « Research on the Social Acceptance of Renewable Energy Technologies: Past, Present and Future ». *Energy Research & Social Science* 68 (octobre 2020): 101544. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101544>.

Batellier, Pierre. « Acceptabilité sociale des grands projets à fort impact socio-environnemental au Québec : définitions et postulats ». *Vertigo*, n° Volume 16 Numéro 1 (19 avril 2016). <https://doi.org/10.4000/vertigo.16920>

Beck, Ulrich. *La société du risque: sur la voie d'une autre modernité*, 2015.

- Bellamy, Rob, Javier Lezaun, et James Palmer. « Perceptions of Bioenergy with Carbon Capture and Storage in Different Policy Scenarios ». *Nature Communications* 10, n° 1 (décembre 2019): 743. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08592-5>.
- Bentleyewski. Robert L. and Mina Juhn, *Systemic Inequality | Race, Place, and Pollution: The Deep Roots of Environmental Racism*, 89 Fordham L. Rev. (2020).
- Blanc-Noël, Nathalie. *La Baltique : une nouvelle région en Europe* ; [cet ouvrage fait écho à un colloque organisé en novembre 2000 par le Centre d'Analyse Politique Comparée de Géostratégie et de Relations Internationales de l'Université Montesquieu de Bordeaux]. Pouvoirs comparés. Paris : L'Harmattan, 2003.
- Boer, Connie de, and Ineke Catsburg. "A Report: The Impact of Nuclear Accidents on Attitudes Toward Nuclear Energy." *The Public Opinion Quarterly* 52, no. 2 (1988): 254–61. <http://www.jstor.org/stable/2749279>.
- Boltanski, Luc, et Laurent Thévenot. *De la justification: les économies de la grandeur*. Nachdr. NRF essais. Paris: Gallimard, 2008.
- Bourdin, Sébastien, Philippe Jeanne, et François Raulin. « Dossier « L'économie circulaire : modes de gouvernance et développement territorial » – « La méthanisation, oui, mais pas chez moi ! » Une analyse du discours des acteurs dans la presse quotidienne régionale ». *Natures Sciences Sociétés* 28, n° 2 (avril 2020): 145-58. <https://doi.org/10.1051/nss/2020030>.
- Bourdin, Sébastien, Fabien Nadou, et François Raulin. « Les collectivités locales comme acteurs intermédiaires de la territorialisation de la transition énergétique : l'exemple de la méthanisation », *Géographie, économie, société*, vol. 21, no. 4, 2019, pp. 273-293.
- Brack, D. and King, R. (2021), *Managing Land-based CDR: BECCS, Forests and Carbon Sequestration*. *Glob Policy*, 12:45-56. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12827>
- Bruning, S. D., & Ledingham, J. A. (1999). Relationships between organizations and publics: Development of a multi-dimensional organization-public relationship scale. In *Public Relations Review* (Vol. 25, Issue 2, pp. 157–170). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s0363-8111\(99\)80160-x](https://doi.org/10.1016/s0363-8111(99)80160-x)
- Brunson, M.W. 1996. A definition of "social acceptability" in ecosystem management. In: Brunson, M. W.; Kruger, L. E.; Tyler, C. B.; Schroeder, S. A., tech. eds. *Defining social acceptability in ecosystem management: a workshop proceedings*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-369. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 7-16.
- Burningham, K. (2000). Using the Language of NIMBY: A topic for research, not an activity for researchers. In *Local Environment* (Vol. 5, Issue 1, pp. 55–67). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/135498300113264>
- Callon, Michel. « Elements pour une sociologie de la traduction : la domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc ». Presses Universitaires de France, 1986. <https://www.jstor.org/stable/27889913?seq=1>.
- Callum Hughes, « Ccs in the UK – Fears May Be Liars – Or May Be Not ». *Energy & Environment* 23, n° 2-3 (mai 2012): 413-16.
- Carvalho Lucie, « "Remember There's Nothing Secret About a Nuclear Power Station": Institutional Communication on Invisible Environmental Risks in British TV Footage (1956-1982). », *Revue Française de Civilisation Britannique* [Online], XXIII-3 | 2018, Online since 07 December 2018,

connection on 08 January 2024. URL: <http://journals.openedition.org/rfcb/2425> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/rfcb.2425>

Chaillex, Sébastien, et Xavier Arnauld de Sartre. « L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé ». Édité par Xavier Arnauld de Sartre et Sébastien Chaillex. *Natures Sciences Sociétés* 29 (2021): S12-24. <https://doi.org/10.1051/nss/2021043>

Clerc, Louis, dir. « La mer Baltique comme zone-frontière : perspectives environnementales, géopolitiques, culturelles ». *Nordiques*, n° 34 (s. d.), 2017

Compagnon, D. « Governing a Mirage? False Promises of Negative Emissions Technologies ». *Carbon & Climate Law Review* 13, n° 2 (2019): 104-12. <https://doi.org/10.21552/cclr/2019/2/5>

Cross, S., Welfle, A. J., Thornley, P., Syri, S., & Mikaelsson, M. (2021). Bioenergy development in the UK & Nordic countries: A comparison of effectiveness of support policies for sustainable development of the bioenergy sector. In *Biomass and Bioenergy* (Vol. 144, p. 105887). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105887>

Daviet Sylvie. L'évolution du concept d'innovation : entrepreneurs, territoires et réseaux. In: *Cahiers Nantais*, n°62-63, 2004. Innovation, industrie et recherche. pp. 5-13.

Devine-Wright, P., Price, J., & Leviston, Z. (2015). My country or my planet? Exploring the influence of multiple place attachments and ideological beliefs upon climate change attitudes and opinions. In *Global Environmental Change* (Vol. 30, pp. 68–79). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.012>

Dewey, John. « Le public et ses problèmes ». In *La réception*, édité par Cécile Méadel, 41-46. CNRS Éditions, 2009. <https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.18789>.

Donnison, C., Holland, R. A., Hastings, A., Armstrong, L., Eigenbrod, F., & Taylor, G. (2020). Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS): Finding the win-wins for energy, negative emissions and ecosystem services – size matters. In *GCB Bioenergy* (Vol. 12, Issue 8, pp. 586–604). Wiley. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12695>

Donnison, C. L., Trdlicova, K., Mohr, A., & Taylor, G. (2023). A net-zero storyline for success? News media analysis of the social legitimacy of bioenergy with carbon capture and storage in the United Kingdom. In *Energy Research & Social Science* (Vol. 102, p. 103153). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103153>

Dütschke, E. (2011). What drives local public acceptance – Comparing two cases from Germany. In *Energy Procedia* (Vol. 4, pp. 6234–6240). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.02.636>

Dütschke, E., Wohlfarth, K., Höller, S., Viebahn, P., Schumann, D., & Pietzner, K. (2016). Differences in the public perception of CCS in Germany depending on CO₂ source, transport option and storage location. In *International Journal of Greenhouse Gas Control* (Vol. 53, pp. 149–159). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2016.07.043>

Dyke, J. G., Knorr, W., & Watson, R. (2021). 4. Why Net Zero Policies Do More Harm than Good. In *Negotiating Climate Change in Crisis* (pp. 39–52). Open Book Publishers. <https://doi.org/10.11647/obp.0265.04>

Egüez, Alejandro. « District Heating Network Ownership and Prices: The Case of an Unregulated Natural Monopoly ». *Utilities Policy* 72 (octobre 2021): 101252.

ELGENIUS, GABRIELLA, and MAGNUS WENNERHAG. "The Changing Political Landscape in Sweden: Political Cleavages, Actors and Processes." *Sociologisk Forskning* 55, no. 2/3 (2018): 139-54. <http://www.jstor.org/stable/26632227>.

Engwall, Mats. « No Project Is an Island: Linking Projects to History and Context ». *Research Policy* 32, n° 5 (mai 2003): 789-808. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00088-4).

Evrard, Aurélien. *Contre vents et marées. Politiques des énergies renouvelables en Europe*. Presses de Sciences Po, 2013

Feenstra, C F J, T Mikunda, et S Brunsting. « What Happened in Barendrecht? », s. d., 44.

Ferreira, Paula, Isabel Soares, et Madalena Araujo. « Liberalisation, consumption heterogeneity and the dynamics of energy prices ». *Energy Policy* 33, n° 17 (2005): 2244-55.

Finon D., « Les États et le nucléaire civil depuis 1955 », art. cité, p. 63. 1991

Fisher, Dana R., et William R. Freudenburg. « Ecological Modernization and Its Critics: Assessing the Past and Looking Toward the Future ». *Society and Natural Resources* 14, n° 8 (1 septembre 2001): 701-9. <https://doi.org/10.1080/08941920152524891>

Forsé, Michel, et Maxime Parodi. « Les progrès du raisonnable. Une évolution des valeurs en Europe de l'Ouest et aux États-Unis entre 1980 et 2000 », *Revue française de sociologie*, vol. 47, no. 4, 2006, pp. 899-927.

Fournis, Yann, et Marie-José Fortin. « Une définition territoriale de l'acceptabilité sociale : pièges et défis conceptuels ». *VertigO*, n° Volume 15 Numéro 3 (28 décembre 2015).

Fressoz, Jean-Baptiste. « Biopouvoir et désinhibitions modernes : la fabrication du consentement technologique au tournant des XVIIIe et XIXe siècles ». *Revue d'histoire moderne et contemporaine* 60-4/4bis, n° 4 (2013): 122. <https://doi.org/10.3917/rhmc.604.0122>.

Freudenburg, N., & Steinsapir, C. (1991). Not in our backyards: The grassroots environmental movement. In *Society & Natural Resources* (Vol. 4, Issue 3, pp. 235-245). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/08941929109380757>

Frimousse, Soufyane, Jean-Marie Peretti, et Abdelaziz Swalhi. « La diversité des formes de performance au travail : le rôle de la justice organisationnelle », *Management & Avenir*, vol. 18, no. 4, 2008, pp. 117-132.

Galvez, Matthieu Emmanuel. « Historical Constraints on the Origins of the Carbon Cycle Concept », 2012.

GARRETT, G. (1993). The politics of maastricht. In *Economics & Politics* (Vol. 5, Issue 2, pp. 105-123). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0343.1993.tb00070.x>

Geels, F. W. (2014). Regime Resistance against Low-Carbon Transitions: Introducing Politics and Power into the Multi-Level Perspective. *Theory, Culture & Society*, 31(5), 21-40. <https://doi.org/10.1177/0263276414531627>

Geels, Frank W., et Johan Schot. « Typology of Sociotechnical Transition Pathways ». *Research Policy* 36, n° 3 (avril 2007): 399-417.

Genel, Katia. « Le biopouvoir chez Foucault et Agamben ». *Méthodos*, n° 4 (2 mai 2004). <https://doi.org/10.4000/methodos.131>.

- Gibbins, Jon, et Hannah Chalmers. « Carbon Capture and Storage ». *Energy Policy* 36, n° 12 (décembre 2008): 4317-22. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.058>.
- Gibson, T. A. (2005). NIMBY and the Civic Good. In *City & Community* (Vol. 4, Issue 4, pp. 381–401). SAGE Publications. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6040.2005.00144.x>
- Göran Berndes, Bob Abt, Antti Asikainen, Annette Cowie, Virginia Dale, Gustaf Egnell, Marcus Lindner, Luisa Marelli, David Paré, Kim Pingoud and Sonia Yeh. 2016. Forest biomass, carbon neutrality and climate change mitigation. From Science to Policy 3. European Forest Institute.
- Gough, Clair, et Sarah Mander. « Beyond Social Acceptability: Applying Lessons from CCS Social Science to Support Deployment of BECCS ». *Current Sustainable/Renewable Energy Reports* 6, n° 4 (décembre 2019): 116-23. <https://doi.org/10.1007/s40518-019-00137-0>.
- Green, J., & Hobolt, S. B. (2008). Owing the issue agenda: Party strategies and vote choices in British elections. In *Electoral Studies* (Vol. 27, Issue 3, pp. 460–476). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.electstud.2008.02.003>
- Grennfelt, Peringe, Anna Engleryd, Martin Forsius, Øystein Hov, Henning Rodhe, et Ellis Cowling. « Acid Rain and Air Pollution: 50 Years of Progress in Environmental Science and Policy ». *Ambio* 49, n° 4 (avril 2020): 849-64.
- Günther, Philipp; Ekardt, Felix (2022): Human Rights and Large-Scale Carbon Dioxide Removal: Potential Limits to BECCS and DACCS Deployment, Land, ISSN 2073-445X, MDPI, Basel, Vol. 11, Iss. 12, pp. 1-29
- Gunzburger, Yann. « Chapitre 1 – Introduction : Pourquoi et comment étudier l'intégration dans son territoire du projet d'exploitation du gaz de charbon en Lorraine ? ». Gunzburger, Yann. *Le gaz de charbon en Lorraine : Quelle intégration dans le territoire ?* Paris : CNRS Éditions, 2017. (pp. 9-20) Web. <<http://books.openedition.org.inshs.bib.cnrs.fr/editionscnrs/30003>>.
- Haas, Peter M. "Introduction: Epistemic Communities and International Policy Coordination." *International Organization* 46, no. 1 (1992): 1–35. <http://www.jstor.org/stable/2706951>.
- Haikola, S., Hansson, A., & Fridahl, M. (2019). Map-makers and navigators of politicised terrain: Expert understandings of epistemological uncertainty in integrated assessment modelling of bioenergy with carbon capture and storage. In *Futures* (Vol. 114, p. 102472). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.102472>
- Haikola, Simon; Anshelm, Jonas; Hansson, Anders (2021): Limits to climate action – Narratives of bioenergy with carbon capture and storage. In *Political Geography* 88, p. 102416. DOI: 10.1016/j.polgeo.2021.102416.
- Hall, Patrik, et Karl Löfgren. « Innovation Policy as Performativity – the Case of Sweden ». *International Journal of Public Administration* 40, n° 4 (21 mars 2017): 305-16.
- Hansson, Anders, Jonas Anshelm, Mathias Fridahl, et Simon Haikola. « The Underworld of Tomorrow? How Subsurface Carbon Dioxide Storage Leaked out of the Public Debate ». *Energy Research & Social Science* 90 (août 2022): 102606. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102606>.
- Hard, Mikael, et Jane Summerton. « District Heating Comes to Town: The Social Shaping of an Energy System ». *Technology and Culture* 35, n° 2 (avril 1994): 415.
- Hastings, Michel. « Oppositions parlementaires, gouvernements minoritaires et démocraties inclusives. L'exemple des pays scandinaves », *Revue internationale de politique comparée*, vol. 18, no. 2, 2011, pp. 45-58.

Hecht (Gabrielle), *Uranium africain*, une histoire globale, Paris, Le Seuil, coll. « L'Univers Historique », 2016, 416 p

Hedenbo Daniel, *The right of appeal of environmental organisations in Swedish case law*, Karlstad Business School, master thesis, 2019

Hickel, J., & Slamersak, A. (2022). Existing climate mitigation scenarios perpetuate colonial inequalities. In *The Lancet Planetary Health* (Vol. 6, Issue 7, pp. e628–e631). Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(22\)00092-4](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(22)00092-4)

Hildingsson, Roger, et Åsa Knaggård. « The Swedish Carbon Tax: A Resilient Success ». In *Successful Public Policy in the Nordic Countries*, édité par Caroline de la Porte, Guðný Björk Eydal, Jaakko Kauko, Daniel Nohrstedt, Paul 't Hart, et Bent Sofus Tranøy, 1^{re} éd., 239-62. Oxford University Press Oxford, 2022.

Holmberg, Rurik, « How Are the Swedish Taxes on Energy and Carbon Dioxide Related to Energy Efficiency? », 2021.

Hughes T. P., The evolution of large technological systems, in: W. E. Bijker, T. P. Hughes & T. Pinch (Eds) *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology* (Cambridge, MA, The MIT Press, 1987), pp. 51–82.

Johansson, Petter. (2017). *A Silent Revolution: The Swedish Transition towards Heat Pumps, 1970-2015*.

Kaiserfeld. T, A local energy system between hydro and nuclear power: introduction of combined heat and power in Karlstad between 1948 and 1956). Arbetsnotat 10, program energisystem, IKP, Linköpings univ. (1999)

Karltorp, Kersti, et Björn A. Sandén. « Explaining Regime Destabilisation in the Pulp and Paper Industry ». *Environmental Innovation and Societal Transitions* 2 (mars 2012): 66-81.

Karlsson, Sebastian, Anders Eriksson, Fredrik Normann, et Filip Johnsson. « Ccs in the Pulp and Paper Industry – Implications on Regional Biomass Supply ». *SSRN Electronic Journal*, 2021.

Karohs, Karoline, « A sustainable Technology? How citizen movements in Germany frame CCS and how this relates to sustainability » Uppsala University, Master's Thesis, 2013

Kraisor NsuthasiNee, S. et swierczek, F. W. (2009). Doing well by doing good in Thailand. *Social Responsibility Journal*, 5(4), 550-565

Krause, R. M., Carley, S. R., Warren, D. C., Rupp, J. A., & Graham, J. D. (2013). "Not in (or Under) My Backyard": Geographic Proximity and Public Acceptance of Carbon Capture and Storage Facilities. In *Risk Analysis* (Vol. 34, Issue 3, pp. 529–540). Wiley. <https://doi.org/10.1111/risa.12119>

Lafargue F., Rivalité énergétique mondiale, *Études* 2008/12, Tome 409, p. 585-596.

Lake, David A. « Anarchy, Hierarchy, and the Variety of International Relations. » *International Organization* 50, no. 1 (1996): 1 – 33. <http://www.jstor.org/stable/2706997>

Lascoumes Pierre et Patrick Le Galès (sous la direction de), *Gouverner par les instruments*, Paris : Presses de sciences Po, collection Gouvernances, 2004, 370 p. *Canadian Journal of Political Science*. 2006; 39(2):445-446. doi:10.1017/S0008423906339984

Latour, Bruno. « On Actor-Network Theory: A Few Clarifications. » *Soziale Welt* 47, no. 4 (1996): 369 – 81. <http://www.jstor.org/stable/40878163>.

Laurent, Brice, et Julien Merlin. « L'ingénierie de la promesse : le nouveau minier français et la « mine responsable » ». Édité par Xavier Arnauld de Sartre et Sébastien Chailleux. *Natures Sciences Sociétés* 29 (2021): S55-68. <https://doi.org/10.1051/nss/2021046>

Lefebvre, Olivier. *Lettre aux ingénieurs qui doutent*. Pour en finir avec. Paris: l'Échappée, 2023.

Lefvert, Adrian, Emily Rodriguez, Mathias Fridahl, Stefan Grönkvist, Simon Haikola, et Anders Hansson. « What Are the Potential Paths for Carbon Capture and Storage in Sweden? A Multi-Level Assessment of Historical and Current Developments ». *Energy Research & Social Science* 87 (mai 2022): 102452.

Leruez, Jacques. « Les élections britanniques du 7 mai 2015 : la victoire de David Cameron n'est-elle qu'un mirage ? » *Pouvoirs* 155, n° 4 (2015): 161.

Lewis, Jamie, Andrew Bartlett, Hauke Riesch, et Neil Stephens. « Why We Need a Public Understanding of Social Science ». *Public Understanding of Science* 32, n° 5 (juillet 2023): 658-72. <https://doi.org/10.1177/09636625221141862>.

Lidskog, Rolf, et Ingemar Elander. « Ecological Modernization in Practice? The Case of Sustainable Development in Sweden ». *Journal of Environmental Policy & Planning* 14, n° 4 (décembre 2012): 411-27

Lippmann, Walter, Bruno Latour, et Laurence Décreau. *Le public fantôme*. Paris: Demopolis, 2008.

Mabon, Leslie, Simon Shackley, Jerry C. Blackford, Henrik Stahl, et Anuschka Miller. « Local Perceptions of the QICS Experimental Offshore CO₂ Release: Results from Social Science Research ». *International Journal of Greenhouse Gas Control* 38 (juillet 2015): 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2014.10.022>.

Malm, Andreas. « Nature et société : un ancien dualisme pour une situation nouvelle », *Actuel Marx*, vol. 61, no. 1, 2017, pp. 47-63.

Mancini, Eliana, et Andrea Raggi. « Out of Sight, out of Mind? The Importance of Local Context and Trust in Understanding the Social Acceptance of Biogas Projects: A Global Scale Review ». *Energy Research & Social Science* 91 (septembre 2022): 102697. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102697>.

Markusson, Nils, et Stuart Haszeldine. « 'Capture Ready' Regulation of Fossil Fuel Power Plants – Betting the UK's Carbon Emissions on Promises of Future Technology ». *Energy Policy* 38, n° 11 (novembre 2010): 6695-6702.

Markusson, Dr Nils, et Professor Stuart Haszeldine. « How Ready Is 'Capture Ready'? – Preparing the UK Power Sector for Carbon Capture and Storage », WWF, 2008, s. d., 44.

Malm, Andreas. « Nature et société : un ancien dualisme pour une situation nouvelle », *Actuel Marx*, vol. 61, no. 1, 2017, pp. 47-63.

Massé, P. (2021). Des instruments (insuffisants) pour gouverner les critiques adressées au « nouveau minier » en France métropolitaine. Une articulation autour des référentiels de l'environnement et du territoire. In *Revue Gouvernance* (Vol. 18, Issue 2, pp. 110–135). Consortium Erudit. <https://doi.org/10.7202/1082504ar>

Matti, Simon. « Exploring Public Policy Legitimacy : A Study of Belief-System Correspondence in Swedish Environmental Policy ». (*PhD dissertation, Luleå tekniska universitet, 2009*)

- Meyer, Teva. « Du carbon lock-in au nuclear lock-in : les verrous spatiaux aux changements de politique nucléaire en Suède ». *Développement durable et territoires*, n° Vol. 8, n°3 (25 novembre 2017). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11936>
- Michaud, K., Carlisle, J. E., & Smith, E. R. A. N. (2008). Nimbyism vs. environmentalism in attitudes toward energy development. In *Environmental Politics* (Vol. 17, Issue 1, pp. 20–39). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/09644010701811459>
- Morlino, Leonardo. « Conclusion. Les limites de la comparaison », , *Introduction à la politique comparée*. sous la direction de Morlino Leonardo. Armand Colin, 2013, pp. 137-141.
- Moura-Leite, R. C. and Padgett, R. C. (2011) Historical Background of Corporate Social Responsibility. *Social Responsibility Journal*, 7, 528-539. <http://dx.doi.org/10.1108/1747111111117511>
- Ng, W. Y., Low, C. X., Putra, Z. A., Aviso, K. B., Promentilla, M. A. B., & Tan, R. R. (2020). Ranking negative emissions technologies under uncertainty. In *Heliyon* (Vol. 6, Issue 12, p. e05730). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05730>
- North, John, and Derek Spooner. "The Great U.K. Coal Rush: A Progress Report to the End of 1976." *Area*, vol. 9, no. 1, 1977, pp. 15–27. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/20001158>. Accessed 22 Jan. 2024.
- North, Michael. « Reinventing the Baltic Sea Region: From the Hansa to the Eu-Strategy of 2009 ». *The Romanian Journal for Baltic and Nordic Studies* 4, n° 2 (15 décembre 2012): 5-17.
- Oiry, A. (2015). Conflits et stratégies d'acceptabilité sociale autour des énergies marines renouvelables sur le littoral français. In *Vertigo* (Issue Volume 15 Numéro 3). OpenEdition. <https://doi.org/10.4000/vertigo.16724>
- O'Neill, Rebeca Neri, et Alain Nadaï. « Risque et démonstration, la politique de capture et de stockage du dioxyde de carbone (CCS) dans l'Union européenne ». *Vertigo*, n° Volume 12 Numéro 1 (25 juin 2012). <https://doi.org/10.4000/vertigo.12172>.
- Otto, Danny, Terese Thoni, Felix Wittstock, et Silke Beck. « Exploring Narratives on Negative Emissions Technologies in the Post-Paris Era ». *Frontiers in Climate* 3 (2021). <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.684135>.
- Parkatti, Vesa-Pekka, et Olli Tahvonen. « Economics of multifunctional forestry in the Sámi people homeland region ». *Journal of Environmental Economics and Management* 110 (2021): 102-542. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102542>
- Persson Skare, K M., 2021: BECCS is next: A study on bioenergy with carbon capture and storage in Norwegian news media. Master thesis in Sustainable Development at Uppsala University, No. 2021/39, 33 pp, 30 ECTS/hp
- Pianta, Silvia, Adrian Rinscheid, et Elke U. Weber. « Carbon Capture and Storage in the United States: Perceptions, Preferences, and Lessons for Policy ». *Energy Policy* 151 (avril 2021): 112149. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112149>.
- Pierson, Paul. "Increasing Returns, Path Dependence, and the Study of Politics." *The American Political Science Review* 94, no. 2 (2000): 251–67. <https://doi.org/10.2307/2586011>.
- Poujade, Robert. « Le premier ministère de l'Environnement (1971-1974). L'invention d'un possible », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, vol. 113, no. 1, 2012, pp. 51-54.

- Raufflet, E., L. Barin-Cruz et L. Bres (2014). « An assessment of corporate social responsibility practices in the mining and oil and gas industries », *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.077>
- Rodriguez, Frank. « UK Government Controls and the Electricity Supply Industry since 1980 ». *Energy Policy* 15, n° 5 (octobre 1987): 463-74.
- Rougemont, Héloïse. « Un monde à (re)trouver ? Essai en faveur d'une cité verte », *Pensée plurielle*, vol. 45, no. 2, 2017, pp. 31-46.
- Rutherford, Jonathan. « The Vicissitudes of Energy and Climate Policy in Stockholm: Politics, Materiality and Transition ». *Urban Studies* 51, n° 7 (mai 2014): 1449-70
- Saalfeld, T. (2003). The United Kingdom: Still a Single 'Chain of Command'? The Hollowing Out of the 'Westminster Model.' In *Delegation and Accountability in Parliamentary Democracies* (pp. 620–648). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/019829784x.003.0021>
- Sartori, Giovanni. « Concept Misformation in Comparative Politics ». *American Political Science Review* 64, n° 4 (décembre 1970): 1033-53. <https://doi.org/10.2307/1958356>
- Simard, Louis. « L'acceptabilité sociale au Québec : nouvel instrument normatif d'action publique: » *Revue internationale de psychosociologie et de gestion des comportements organisationnels* Vol. XXVII, n° 69 (9 septembre 2021): 17-44. <https://doi.org/10.3917/rips1.069.0017>.
- Smith, L. J., Torn, M.S. Ecological limits to terrestrial biological carbon dioxide removal. *Climatic Change* 118, 89–103 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0682-3>
- Stavrakas, V., Spyridaki, N.-A., & Flamos, A. (2018). Striving towards the Deployment of Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS): A Review of Research Priorities and Assessment Needs. In *Sustainability* (Vol. 10, Issue 7, p. 2206). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su10072206>
- Stoy, Paul C, Selena Ahmed, Meghann Jarchow, Benjamin Rashford, David Swanson, Shannon Albeke, Gabriel Bromley, et al. « Opportunities and Trade-Offs among BECCS and the Food, Water, Energy, Biodiversity, and Social Systems Nexus at Regional Scales ». *BioScience* 68, n° 2 (1 février 2018): 100-111. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix145>.
- Sovacool, B. K., Axsen, J., & Sorrell, S. (2018). Promoting novelty, rigor, and style in energy social science: Towards codes of practice for appropriate methods and research design. In *Energy Research & Social Science* (Vol. 45, pp. 12–42). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.007>
- Szarka Joseph, 2002, *The Shaping of Environmental Policy in France*, New York/Oxford, Berghahn Books.
- Tamme, E., & Beck, L. L. (2021). European Carbon Dioxide Removal Policy: Current Status and Future Opportunities. In *Frontiers in Climate* (Vol. 3). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.682882>
- Taylor, Andrew. *The NUM and British politics*. Studies in labour history. Aldershot, Hampshire, England ; Burlington, VT, USA: Ashgate, 2003.
- Thrasher Michael, Galina Borisyuk, Colin Rallings, Ron Johnston & Charles Pattie (2016) Electoral bias at the 2015 general election: reducing Labour's electoral advantage, *Journal of Elections, Public Opinion and Parties*, 26:4, 391-411, DOI: [10.1080/17457289.2016.1202253](https://doi.org/10.1080/17457289.2016.1202253)
- Tickle, A.K. « Ecological Modernisation in UK Science-Policy Communities: The Case of Acid Rain and Critical Loads ». *Energy & Environment* 10, n° 6 (novembre 1999): 617-37.

Tittor, A. (2021). Towards an Extractivist Bioeconomy? The Risk of Deepening Agrarian Extractivism When Promoting Bioeconomy in Argentina. In *Bioeconomy and Global Inequalities* (pp. 309–330). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68944-5_15

Topçu, Sezin. *La France nucléaire : l'art de gouverner une technologie contestée*. Paris : Éditions du Seuil, 2013.

Tsuchiya, Miyuki. « Le changement de la politique de l'énergie post-Fukushima au Japon : une articulation *policy/politics* ambiguë », *Revue internationale de politique comparée*, vol. 24, no. 1-2, 2017, pp. 51-75.

Upham, Paul, et Thomas Roberts. « Public Perceptions of CCS: Emergent Themes in Pan-European Focus Groups and Implications for Communications ». *International Journal of Greenhouse Gas Control* 5, n° 5 (septembre 2011): 1359-67. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2011.06.005>

Vartiainen, Juhana, 1998. "[Understanding Swedish Social Democracy: Victims of Success?](#)" *Oxford Review of Economic Policy*, Oxford University Press, vol. 14(1), pages 19-39, Spring.

Vergragt, Philip J., Nils Markusson, et Henrik Karlsson. « Carbon Capture and Storage, Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, and the Escape from the Fossil-Fuel Lock-In ». *Global Environmental Change* 21, n° 2 (mai 2011): 282-92. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.020>

Verne, Jules, J. Férat, et Charles Barbant. *Les Indes Noires. Les voyages extraordinaires*. Paris: Hetzel, 1995

Viebahn, P., Scholz, A., & Zelt, O. (2019). The Potential Role of Direct Air Capture in the German Energy Research Program – Results of a Multi-Dimensional Analysis. In *Energies* (Vol. 12, Issue 18, p. 3443). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en12183443>

Vigour, Cécile. *La comparaison dans les sciences sociales. Pratiques et méthodes*. La Découverte, 2005

Voss, Glenn B., Deepak Sirdeshmukh, and Zannie Giraud Voss. "The Effects of Slack Resources and Environmental Threat on Product Exploration and Exploitation." *The Academy of Management Journal* 51, no. 1 (2008): 147–64. <http://www.jstor.org/stable/20159499>.

Vuuren, Detlef P. van, Elke Stehfest, David E. H. J. Gernaat, Maarten van den Berg, David L. Bijl, Harmen Sytze de Boer, Vassilis Daioglou, et al. « Alternative Pathways to the 1.5 °C Target Reduce the Need for Negative Emission Technologies ». *Nature Climate Change* 8, n° 5 (mai 2018): 391-97. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0119-8>.

Wade, R. (2013). The Conservative Party and Its Microeconomic Policies, 1964–97. In: *Conservative Party Economic Policy*. Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/9781137295248_3

Wähling, Lara-Sophie & Fridahl, Mathias & Heimann, Tobias & Merk, Christine, 2023. "The sequence matters: Expert opinions on policy mechanisms for bioenergy with carbon capture and storage," Open Access Publications from Kiel Institute for the World Economy 275739, Kiel Institute for the World Economy (IfW Kiel).

Waller, Laurie, Tim Rayner, Jason Chilvers, Clair Amanda Gough, Irene Lorenzoni, Andrew Jordan, et Naomi Vaughan. « Contested Framings of Greenhouse Gas Removal and Its Feasibility: Social and Political Dimensions ». *WIREs Climate Change* 11, n° 4 (juillet 2020). <https://doi.org/10.1002/wcc.649>

Winkel, Mark. « Autonomy's End: Nuclear Power and the Privatization of the British Electricity Supply Industry ». *Social Studies of Science* 32, n° 3 (juin 2002): 439-67.

Zetterberg, Lars, Filip Johnsson, et Kenneth Möllersten. « Incentivizing BECCS – A Swedish Case Study ». *Frontiers in Climate* 3 (2021). <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.685227>

II. Sciences naturelles et économiques:

Achakulwisut, P., Erickson, P., Guivarch, C. *et al.* Global fossil fuel reduction pathways under different climate mitigation strategies and ambitions. *Nat Commun* 14, 5425 (2023).

<https://doi.org/10.1038/s41467-023-41105-z>

Ahamer, Gilbert, 2022. "Why Biomass Fuels Are Principally Not Carbon Neutral," *Energies*, MDPI, vol. 15(24), pages 1-39, December.

Åhman, Max, Jon Birger Skjærseth, et Per Ove Eikeland. « Demonstrating Climate Mitigation Technologies: An Early Assessment of the NER 300 Programme ». *Energy Policy* 117 (juin 2018): 100-107.

Almena, Alberto, Patricia Thornley, Katie Chong, et Mirjam Röder. « Carbon dioxide removal potential from decentralised bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) and the relevance of operational choices ». *Biomass and Bioenergy* 159 (2022): 106406.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106406>

Anthonsen, K. L., Aagaard, P., Bergmo, P. E. S., Erlström, M., Fareide, J. I., Gislason, S. R., Mortensen, G. M., & Snæbjörnsdóttir, S. Ó. (2013). CO₂ Storage Potential in the Nordic Region. In *Energy Procedia* (Vol. 37, pp. 5080–5092). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.421>

Atalla, Ili, et Gabriel Kurt. « Development of Biochar in Sweden », 2020

Bauer, Fredric, Lars Coenen, Teis Hansen, Kes McCormick, et Yuliya Voytenko Palgan. « Technological Innovation Systems for Biorefineries: A Review of the Literature ». *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 11, n° 3 (mai 2017): 534-48. <https://doi.org/10.1002/bbb.1767>.

Booth, M. S. (2018). Not carbon neutral: Assessing the net emissions impact of residues burned for bioenergy. In *Environmental Research Letters* (Vol. 13, Issue 3, p. 035001). IOP Publishing.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaac88>

Butnar, Isabela, Oliver Broad, Baltazar Solano Rodriguez, et Paul E. Dodds. « The Role of Bioenergy for Global Deep Decarbonization: CO₂ Removal or Low-carbon Energy? » *GCB Bioenergy* 12, n° 3 (mars 2020): 198-212. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12666>.

Choi, Yoon Young, Anil Kumar Patel, Min Eui Hong, Won Seok Chang, et Sang Jun Sim. « Microalgae Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS): An emerging sustainable bioprocess for reduced CO₂ emission and biofuel production ». *Bioresource Technology Reports* 7 (1 septembre 2019): 100270. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100270>.

Consoli, Christopher. « Bioenergy and carbon capture and storage » Global CCS Institute, 2019.

Cradden, Lucy Catherine. « The Impact of Climate Change on Wind Energy Generation in the UK », s. d., 389. University of Edinburgh, August 2009

Creutzig, F. (2014). Economic and ecological views on climate change mitigation with bioenergy and negative emissions. In *GCB Bioenergy* (Vol. 8, Issue 1, pp. 4–10). Wiley.

<https://doi.org/10.1111/gcbb.12235>.

Davison, John. « Electricity Systems with Near-Zero Emissions of CO₂ Based on Wind Energy and Coal Gasification with CCS and Hydrogen Storage ». *International Journal of Greenhouse Gas Control* 3, n° 6 (décembre 2009): 683-92. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2009.08.006>.

Dittrich, Linnea, and Sofia Lillieroth. "The role of bioenergy for achieving a fossil fuel free Stockholm by 2040." Thesis, KTH, Skolan för industriell teknik och management (ITM), 2019. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-264528>.

Eklund, Magnus. "Adoption of the Innovation System Concept in Sweden." (2007).

Emenike, Oluchi, Stavros Michailos, Kevin J. Hughes, Derek Ingham, et Mohamed Pourkashanian. « Techno-Economic and Environmental Assessment of BECCS in Fuel Generation for FT-Fuel, BioSNG and OME x ». *Sustainable Energy & Fuels* 5, n° 13 (2021): 3382-3402. <https://doi.org/10.1039/D1SE00123J>

Erans, María, Seyed Ali Nabavi, et Vasilije Manović. « Pilot-scale calcination of limestone in steam-rich gas for direct air capture ». *Energy Conversion and Management: X* 1 (1 janvier 2019): 100007. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2019.100007>

Erans, M., Sanz-Pérez, E. S., Hanak, D. P., Clulow, Z., Reiner, D. M., & Mutch, G. A. (2022). Direct air capture: process technology, techno-economic and socio-political challenges. In *Energy & Environmental Science* (Vol. 15, Issue 4, pp. 1360–1405). Royal Society of Chemistry (RSC). <https://doi.org/10.1039/d1ee03523a>

Eyl-Mazzega, Marc-Antoine, Mathieu, Carole, Boesgaard, Knud, Daniel-Gromke, Jaqueline, Denysenko, Velina, Liebetrau, Jan, & Cornot-Gandolphe, Sylvie (2019). Biogas and Bio-methane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy (INIS-FR – 19-1104). France

Fajardy, Mathilde, Piera Patrizio, Habiba Ahut Daggash, et Niall Mac Dowell. « Negative Emissions: Priorities for Research and Policy Design ». *Frontiers in Climate* 1 (2019). <https://doi.org/10.3389/fclim.2019.00006>.

Florio massimo, 2007. "A note on privatizations and public sector net worth: what (not) to learn from the UK experience," *Departmental Working Papers* 2007-18, Department of Economics, Management and Quantitative Methods at Università degli Studi di Milano.

Fridahl, Mathias, et Mariliis Lehtveer. « Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS): Global potential, investment preferences, and deployment barriers ». *Energy Research & Social Science* 42 (1 août 2018): 155-65. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.03.019>

Fuss, Sabine, William F. Lamb, Max W. Callaghan, Jérôme Hilaire, Felix Creutzig, Thorben Amann, Tim Beringer, et al. « Negative emissions – Part 2: Costs, potentials and side effects ». *Environmental Research Letters* 13, n° 6 (mai 2018): 063002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f>.

Fuss, S., & Johnsson, F. (2021). The BECCS Implementation Gap – A Swedish Case Study. In *Frontiers in Energy Research* (Vol. 8). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.553400>

Galik, C. S., Baker, J. S., Bartuska, A., & Abt, R. C. (2023). Accounting Considerations for Capturing the GHG Consequences of BECCS. Energy Futures Initiative, Washington, D. C.

Gibbins, Jon, et Mathieu Lucquiaud. « The Development of UK CCUS Strategy and Current Plans for Large-Scale Deployment of This Technology ». *Annales Des Mines - Responsabilité et Environnement* N° 105, n° 1 (12 janvier 2022): 26-30. <https://doi.org/10.3917/re1.105.0026>.

Greenhalg, K. 2022. BP bets big on renewables, green hydrogen in Australia's Pilbara. IHS Markit, 16th June. <https://cleanenergynews.ihsmarkit.com/research-analysis/bp-bets-big-on-renewables-green-hydrogen-in-australias-pilbara.html>

Guo, Jian, Minghao Zhong, et Shuran Chen. « Analysis and simulation of BECCS vertical integration model in China based on evolutionary game and system dynamics ». *Energy* 252 (2022): 124000. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124000>

Hansen, J. E., Sato, M., Simons, L., Nazare nko, L. S., Sangha, I., von Schuckmann, K., Loeb, N. G., Osman, M. B., Jin, Q., Kharecha, P., Tselioudis, G., Jeong, E., Laxis, A., Ruedy, R., Russell, G., Cao, J., & Li, J. (2022). Global warming in the pipeline (Version 3). arXiv. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2212.04474>

Hanssen, S. V., Steinmann, Z. J. N., Daioglou, V., Čengić, M., Van Vuuren, D. P., & Huijbregts, M. A. J. (2021). Global implications of crop-based bioenergy with carbon capture and storage for terrestrial vertebrate biodiversity. In *GCB Bioenergy* (Vol. 14, Issue 3, pp. 307–321). Wiley. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12911>

Hasan, Mohammad. (2017). Transmission of international energy price shocks to australian stock market and its implications for portfolio formation Contribution/Originality. *Asian Economic and Financial Review*. 2017. 393-412. 10.18488/journal.aefr/2017.7.4/102.4.393.412.

Haszeldine, R. S., Flude, S., Johnson, G., & Scott, V. (2018). Negative emissions technologies and carbon capture and storage to achieve the Paris Agreement commitments. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 376, Issue 2119, p. 20160447). The Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0447>

Jagu Emma, Massol Olivier. Building infrastructures for Fossil- and Bio-energy with Carbon Capture and Storage: insights from a cooperative game-theoretic perspective: Cahiers de l'Economie, Série Recherche, n° 135. 2020. hal-03118399

Jeswani, Harish Kumar, Djasmine Mastisya Saharudin, et Adisa Azapagic. « Environmental sustainability of negative emissions technologies: A review ». *Sustainable Production and Consumption* 33 (2022): 608-35. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.06.028>.

Johansson, Johanna, et Thomas Ranius. « Biomass Outtake and Bioenergy Development in Sweden: The Role of Policy and Economic Presumptions ». *Scandinavian Journal of Forest Research* 34, n° 8 (17 novembre 2019): 771-78.

Johnson, Nils. « How Negative Can Biofuels with CCS Take Us and at What Cost? Refining the Economic Potential of Biofuel Production with CCS Using Spatially-Explicit Modeling ». *Energy Procedia*, 2014.

Johnson, Eric. « Goodbye to Carbon Neutral: Getting Biomass Footprints Right ». *Environmental Impact Assessment Review* 29, n° 3 (avril 2009): 165-68.

Kemper, Jasmin. « Biomass and carbon dioxide capture and storage: A review ». *Special Issue commemorating the 10th year anniversary of the publication of the Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on CO2 Capture and Storage* 40 (1 septembre 2015): 401-30. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.06.012>

Klapperich, R. J., Liu, G., Stepan, D. J., Jensen, M. D., orecki, C. D., Steadman, E. N., Harju, J. A., & Nakles, D. V. (2014). IEAGHG Investigation of Extracted Water from CO2 Storage: Potential Benefits of Water Extraction and Lesson Learned. In *Energy Procedia* (Vol. 63, pp. 7173–7186). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.753>

Kraxner, F., Leduc, S., Fuss, S., Aoki, K., Kindermann, G., & Yamagata, Y. (2014). Energy Resilient Solutions for Japan – a BECCS Case Study. In *Energy Procedia* (Vol. 61, pp. 2791–2796). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.316>

Kuklinska, Karolina, Lidia Wolska, et Jacek Namiesnik. « Air Quality Policy in the U.S. and the EU – a Review ». *Atmospheric Pollution Research* 6, n° 1 (janvier 2015): 129-37.

Kumar, Anuj, Stergios Adamopoulos, Dennis Jones, et Stephen O. Amiandamhen. « Forest Biomass Availability and Utilization Potential in Sweden: A Review ». *Waste and Biomass Valorization* 12, n° 1 (janvier 2021): 65-80.

Lehtveer, Mariliis, et Anna Emanuelsson. « BECCS and DACCS as Negative Emission Providers in an Intermittent Electricity System: Why Levelized Cost of Carbon May Be a Misleading Measure for Policy Decisions ». *Frontiers in Climate* 3 (2021). <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.647276>.

Lester C Hunt & Scott Milne, 2013. "The UK Energy System in 2050: Centralised or Localised? A Report on the Construction of the CLUES Scenarios," Surrey Energy Economics Centre (SEEC), School of Economics Discussion Papers (SEEDS) SEERS1, Surrey Energy Economics Centre (SEEC), School of Economics, University of Surrey.

Levihn, Fabian & Linde, Linus & Gustafsson, Kåre & Dahlen, Erik. (2019). Introducing BECCS through HPC to the research agenda: The case of combined heat and power in Stockholm. *Energy Reports*. 5. 10.1016/j.egy.2019.09.018.

Levihn, Fabian. « CHP and Heat Pumps to Balance Renewable Power Production: Lessons from the District Heating Network in Stockholm ». *Energy* 137 (octobre 2017): 670-78.

Lindahl, Karin Beland, Anna Sténs, Camilla Sandström, Johanna Johansson, Rolf Lidskog, Thomas Ranius, et Jean-Michel Roberge. « The Swedish Forestry Model: More of Everything? » *Forest Policy and Economics* 77 (avril 2017): 44-55.

Lohmann, Per, et Zami Sarker. « New Business Model for District Heating Firms Stabilizing the National Energy System with a Future Variable Electricity Production », Master's Thesis, 2013, KTH School of Industrial Engineering and Management.

MacKerron, G (2003) "Electricity in England and Wales: efficiency and equity" in Glachant, J M and Dominique, F (ed) *Competition in European electricity markets*, Edward Elgar Publishing

Marland, G., Kowalczyk, T. and Marland, E. (2015), Carbon Accounting: Issues of Scale. *Journal of Industrial Ecology*, 19:7-9. doi:10.1111/jiec.12250. Publisher version of record available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12250>

Maroto-Valer, Prof. M. Mercedes. « Out with the Old; in with CCS! ». *Greenhouse Gases: Science and Technology* 4, n° 1 (février 2014): 1-2.

McIlveen-Wright, David R., Ye Huang, Sina Rezvani, David Redpath, Mark Anderson, Ashok Dave, et Neil J. Hewitt. « A Technical and Economic Analysis of Three Large Scale Biomass Combustion Plants in the UK ». *Applied Energy* 112 (décembre 2013): 396-404.

Mechleri, Evgenia & Brown, Solomon & Fennell, Paul & Mac Dowell, Niall. (2017). CO2 capture and storage (CCS) cost reduction via infrastructure right-sizing. *Chemical Engineering Research and Design*. 119. 10.1016/j.cherd.2017.01.016.

Möllersten, Kenneth, Jinyue Yan, et Jose R. Moreira. « Potential Market Niches for Biomass Energy with CO2 Capture and Storage – Opportunities for Energy Supply with Negative CO2 Emissions ». *Biomass and Bioenergy* 25, n° 3 (septembre 2003): 273-85

Mola-Yudego, Blas, et Paavo Pelkonen. « Pulling Effects of District Heating Plants on the Adoption and Spread of Willow Plantations for Biomass: The Power Plant in Enköping (Sweden) ». *Biomass and Bioenergy* 35, n° 7 (juillet 2011): 2986-92.

Muri, Helene. « The role of large—scale BECCS in the pursuit of the 1.5 °C target: an Earth system model perspective ». *Environmental Research Letters* 13, n° 4 (mars 2018): 044010.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab324>.

Navedkhan, Mohammed, Jayram Lakshminarayan, Chet Biliyok, et Fabian Levihn. « Integration of Hot Potassium Carbonate CO2 Capture Process to a Combined Heat and Power Plant at Värtaverket ». *SSRN Electronic Journal*, 2022.

Nuortimo, Kalle, Timo Eriksson, Reijo Kuivalainen, Janne Härkönen, Harri Haapasalo, et Timo Hyppänen. « Tackling boundaries of CCS in market deployment of second-generation oxy-fuel technology ». *Clean Energy* 2, n° 1 (6 juillet 2018): 72-81. <https://doi.org/10.1093/ce/zky002>

Patrizio, P., Fajardy, M., Bui, M., & Dowell, N. M. (2021). CO2 mitigation or removal: The optimal uses of biomass in energy system decarbonization. In *iScience* (Vol. 24, Issue 7, p. 102765). Elsevier BV.
<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102765>

Pattenden, N. J. (1976). Multi-element Airborne Dust Measurements for Selby District Council: report for Year September 1975 to August 1976. EMS(76)18, Environmental and Medical Sciences Division, AERE, Harwell, UK.

Pires, Jose Carlos Magalhaes, :”Carbon Capture and Storage. (2019). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/books978-3-03921-400-6>

Plamena, Tisheva; Overview – The abrupt change on UK renewables policy, *Renewables now*, 29 fév. 2016

Prevedel, Bernhard, Sonja Martens, Ben Norden, Jan Hennings, et Barry M. Freifeld. « Drilling and Abandonment Preparation of CO2 Storage Wells – Experience from the Ketzin Pilot Site ». *Energy Procedia* 63 (2014): 6067-78.

Rosa, Lorenzo, Daniel L. Sanchez, et Marco Mazzotti. « Assessment of carbon dioxide removal potential via BECCS in a carbon-neutral Europe ». *Energy Environ. Sci.* 14, n° 5 (2021): 3086-97.
<https://doi.org/10.1039/D1EE00642H>.

Rosa, Lorenzo, et Marco Mazzotti. « Potential for hydrogen production from sustainable biomass with carbon capture and storage ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 157 (1 avril 2022): 112123.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112123>.

Safarian, Sahar. « Performance analysis of sustainable technologies for biochar production: A comprehensive review ». *Energy Reports* 9 (1 décembre 2023): 4574-93.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.111>

Sandberg, Dick, Mojgan Vasiri, Johann Trischler, et Micael Öhman. « The Role of the Wood Mechanical Industry in the Swedish Forest Industry Cluster ». *Scandinavian Journal of Forest Research* 29, n° 4 (19 mai 2014): 352-59.

Shahbaz, Muhammad, Ahmed AlNouss, Ikhlas Ghat, Gordon Mckay, Hamish Mackey, Samar Elkhailifa, et Tareq Al-Ansari. « A comprehensive review of biomass based thermochemical conversion technologies integrated with CO2 capture and utilisation within BECCS networks ». *Resources, Conservation and Recycling* 173 (1 octobre 2021): 105 734.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105734>

Smith, K.H., N.J. Nicholas, et G.W. Stevens. « Inorganic Salt Solutions for Post-Combustion Capture ». In *Absorption-Based Post-Combustion Capture of Carbon Dioxide*, 145-66. Elsevier, 2016.

Strege, Josh and Stanislawski, Joshua and Kay, John P., Impact of BECCS on amine-based CO2 capture solvents in a pilot-scale combustion environment (November 18, 2022). Proceedings of the 16th

Greenhouse Gas Control Technologies Conference (GHGT-16) 23-24 Oct 2022, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4280633> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4280633>

Streibel, Martin, Robert J. Finley, Sonja Martens, Sallie Greenberg, Fabian Möller, et Axel Liebscher. « From Pilot to Demo Scale – Comparing Ketzin Results with the Illinois Basin-Decatur Project ». *Energy Procedia* 63 (2014): 6323-34.

Stenström, Oscar, “Robust BECCS deployment strategies under deep uncertainty A case study of Stockholm Exergi” Master of Science Thesis, Department of Energy Technology, KTH Royal Institute of Technology, 2023

Ter-Mikaelian, M. T., Colombo, S. J., & Chen, J. (2015). The Burning Question: Does Forest Bioenergy Reduce Carbon Emissions? A Review of Common Misconceptions about Forest Carbon Accounting. In *Journal of Forestry* (Vol. 113, Issue 1, pp. 57–68). Oxford University Press (OUP). <https://doi.org/10.5849/jof.14-016>

Tillman, D A. « Biomass Co-firing: The Technology, the Experience, the Combustion Consequences ». *Biomass and Bioenergy*, 2000, 20.

Tiseo, Ian, “Carbon dioxide emissions in Sweden 1970-2021”, March 2, 2023

T. L. Karthikeyan, ‘Investigation of the absorption solvent for bioenergy carbon capture and storage (BECCS) through pilot plant trials’, Dissertation, 2020.

Toke, David. « Wind Power in the UK: How Planning Conditions and Financial Arrangements Affect Outcomes ». *International Journal of Sustainable Energy* 23, n° 4 (décembre 2003): 207-16.

Vallack, H.W., et M.J. Chadwick. « Monitoring Airborne Dust in a High Density Coal-Fired Power Station Region in North Yorkshire ». *Environmental Pollution* 80, n° 2 (1993): 177-83.

Vasudevan, Suraj, Shamsuzzaman Farooq, Iftekhar A. Karimi, Mark Saeys, Michael C.G. Quah, et Rakesh Agrawal. « Energy Penalty Estimates for CO₂ Capture: Comparison between Fuel Types and Capture-Combustion Modes ». *Energy* 103 (mai 2016): 709-14.

Watson, Andrew. Review of *Steam Power and Sea Power: Coal, the Royal Navy, and the British Empire, c. 1870–1914*, by Steven Gray. *Canadian Journal of History* 53, no. 3 (2018): 523-524.

Werner, Sven. « District Heating and Cooling in Sweden ». *Energy* 126 (mai 2017): 419-29

Westley, Frances, and Harrie Vredenburg. “Interorganizational Collaboration and the Preservation of Global Biodiversity.” *Organization Science* 8, no. 4 (1997): 381 – 403. <http://www.jstor.org/stable/2635210>.

Witkowski, Andrzej et al. (2013). “Comprehensive analysis of pipeline transportation systems for CO₂ sequestration. Thermodynamics and safety problems”. In: *Energy Conversion and Management* 76, pp. 665–673.

Zhang, D., Bui, M., Fajardy, M., Patrizio, P., Kraxner, F., & Dowell, N. M. (2020). Unlocking the potential of BECCS with indigenous sources of biomass at a national scale. In *Sustainable Energy & Fuels* (Vol. 4, Issue 1, pp. 226–253). Royal Society of Chemistry (RSC). <https://doi.org/10.1039/c9se00609e>



ECOLE DOCTORALE

ED 481 – Sciences sociales et humanités

LABORATOIRE

UMR TREE 6031

Florian Auclair (auclair.florian@gmail.com)

