



Mettre en œuvre la transition énergétique ?

Les enjeux de planification et
de politique industrielle

Avril 2023

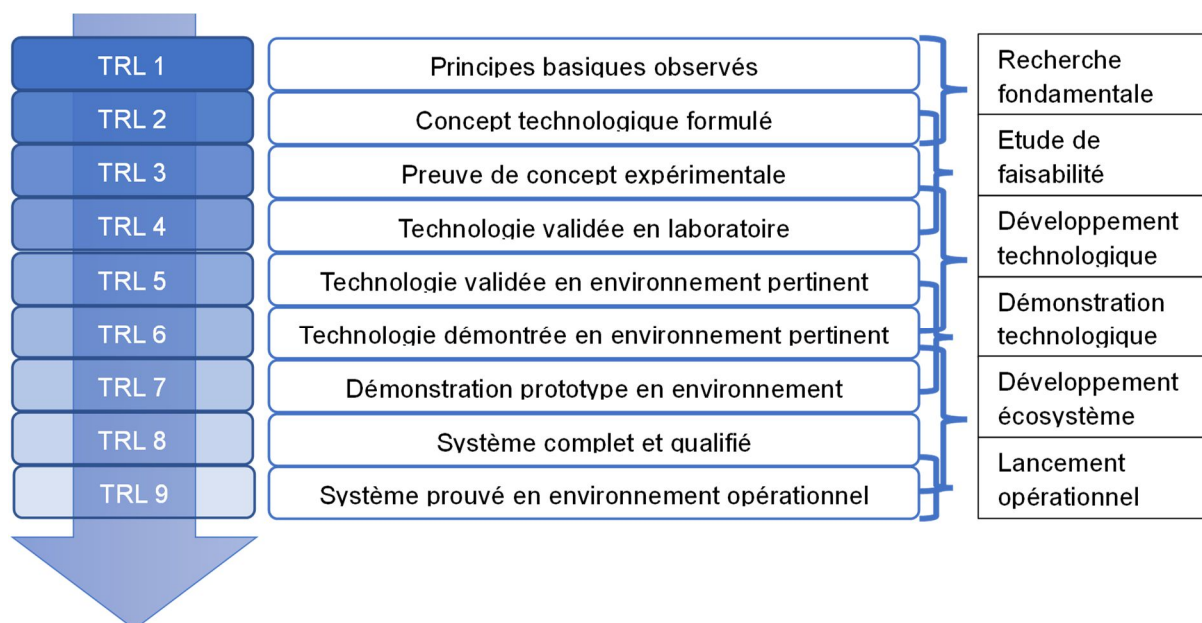
ANNEXES

Liste des annexes

Annexe 1 : Technology Readiness Level	3
Annexe 2 Exemples de soutiens publics à l'innovation aux niveaux français et européen ...	4
Annexe 3 : Note sur la prise en compte des enjeux climatiques par les institutions financières	6
Les risques et opportunités climatiques susceptibles d'impacter les institutions financières	7
Comment les institutions financières prennent en compte les ROC ?.....	7
Les principales limites rattachées à ces nouvelles stratégies d'investissement responsables.....	9
Annexe 4 : Réinventer la planification à l'heure de la transition écologique	14
1/ Les obstacles à la transition écologique	14
2/ Les leçons de l'expérience de planification passée et récente	16
3/ Adapter la planification aux enjeux du 21ème siècle.....	19
Pour conclure.....	25
Annexe 5 : Quel rôle pour la modélisation des innovations de rupture ?	26
Les modélisations quantitatives traditionnelles rencontrent deux limites	26
Un autre type de démarche basée sur la modélisation système de systèmes et une conception interactive de la rationalité.....	26
Une démarche s'inspirant de cette méthodologie a été déployée pour le projet Rouen-TIGA.....	28
Quelques résultats	28
Annexe 6 : Du bon usage du coût d'abattement dans le contexte de la neutralité carbone en 2050	33
Un préalable : la reformulation de l'analyse coût bénéfice dans le contexte de la NZE.....	33
Le coût d'abattement dynamique : la bonne métrique pour cette reformulation de l'analyse coût bénéfice	34
Trois illustrations.....	36
Quelques précautions à prendre pour la mise en œuvre	43

Annexe 1 : Technology Readiness Level

Le *Technology Readiness Level* est une méthode pour estimer la maturité d'une technologie en cours de développement. Cette approche a été développée par la NASA dans les années 1970 et a été reprise par de nombreux autres acteurs, publics comme privés. La Commission Européenne a suggéré en 2010 que les fonds européens destinés à soutenir la recherche et l'innovation s'appuient sur cette échelle pour différencier les différents stades de maturité des projets soutenus¹. Le programme Horizon 2020, instauré en 2014, s'est d'ailleurs inspiré de cette échelle et ses successeurs ont maintenu cet usage



Les projets présentés dans le cadre de cette note se positionnent à des niveaux technologiques assez différents, avec la difficulté additionnelle que plusieurs ne relèvent pas d'une seule technologie, mais assemblent plusieurs briques technologiques, voire traitent de la mise en place d'écosystèmes dont les briques technologiques ne sont qu'un des composants. Le projet Extrême Défi est dans les premières phases, environ TRL 2, le travail de concertation sur la mobilité n'a pas une dominante technologique. Le projet de démonstrateur de four décarboné pour l'industrie du verre vise un TRL 7 à 8. La Zero Emission Valley a permis de valider la technologie mais à une échelle prototype, ce qui correspondrait à un TRL 7. Enfin, Logivolt est l'exemple d'un déploiement achevé et serait donc en TRL 9.

Cette approche TRL est particulièrement utile pour le soutien financier public à l'innovation. Dans le cadre de la transition, qui doit s'appuyer, pour partie, sur des technologies qui doivent devenir matures dans un horizon de temps contraint, elle améliore l'attribution des ressources en concentrant l'investissement sur les innovations pouvant rapidement devenir opérationnelles. Elle permet ainsi à la puissance publique de diriger plus efficacement son action en ciblant les aides vers des étapes clairement identifiées du développement de nouvelles technologies.

¹ https://web.archive.org/web/20171011071816/https://www.innovation.cc/discussion-papers/22_2_3_heder_nasa-to-eu-trl-scale.pdf

Annexe 2 Exemples de soutiens publics à l'innovation aux niveaux français et européen

Nom	Source	TRL cible	Objectifs	Critères d'attribution	Niveau de financement max	Type de financement
Banque des Territoires	FR	N/A	Accompagner le développement des territoires en les rendant plus durables, inclusifs, attractifs et connectés, via une large gamme de programme de soutien financier et une expertise globale	Variable selon le programme d'investissement	Variable	Prêts, investissement, garanties
ADEME	FR	N/A	Objectifs spécifiques à chaque projet en ligne avec les objectifs de l'ADEME	Alignement du projet avec les objectifs de l'AMI (Appel à Manifestation d'Intérêt), qualité, maturité et faisabilité du projet dans le cadre de l'AMI, degré d'innovation du projet et du porteur	25% - 70%	Subvention suite à appels à projets compétitifs
Horizon Europe	EU	3-7	Renforcer les bases scientifiques et technologiques de l'Union, stimuler sa compétitivité, y compris celle de son industrie, concrétiser les priorités politiques stratégiques de l'Union, contribuer à répondre aux problématiques mondiales, dont les objectifs de développement durable.	L'excellence ; l'incidence/impact ; la qualité et l'efficacité de la mise en œuvre de l'action	30% -100% de 125% des coûts directs	Subvention, suite à appels à projets compétitifs

Nom	Source	TRL cible	Objectifs	Critères d'attribution	Niveau de financement max	Type de financement
Innovation Fund –Small Scale avec CAPEX jusqu'à 7.5 MEUR, et Large Scale au-delà	EU	7-9	Financer des projets de démonstration à échelle industrielle de technologies hautement innovantes pouvant amener à une réduction significative des émissions de GES, par la taille du potentiel d'abattement, et pour les coûts d'abattement les plus faibles	Degré d'innovation, Potentiel de réduction de GES et maturité du projet, Capacité à être démultiplié et bon rapport performance / coût	Small scale : 60% du CAPEX additionnel lié à la solution de décarbonation ; Large Scale : méthodes spécifiques	Subvention, sujette à l'atteinte d'objectifs de décarbonation, suite à appels à projets compétitifs
Prêts décarbonés BEI	EU	2-7	Soutenir les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, les réseaux et le stockage, les infrastructures de recharge de véhicules électriques et les technologies novatrices comme l'hydrogène bas carbone	Green Eligibility Checker , label vert BEI	50% - 75%	Prêts à taux bonifiés
Research Fund for Coal and Steel	EU	1-9	Améliorer la compétitivité du charbon européen, améliorer les mines sur les angles sécurité et santé, protection de l'environnement, augmenter l'usage du charbon « propre » ; améliorer les techniques de production d'acier, promouvoir la recherche et innovation sur l'acier, conservation des ressources et amélioration des conditions de travail	Pertinence, efficacité et efficience, cohérence, valeur ajoutée à l'échelle européenne	60-100% de 125% des coûts directs	Subvention suite à appels à projets compétitifs
Clean Hydrogen Joint Undertaking	EU	2-8	Contribuer à l'ambition climatique de l'UE pour 2030 et 2050, soutenir la mise en œuvre de la stratégie de la Commission en faveur de l'hydrogène, Renforcer la compétitivité de la chaîne de valeur de l'hydrogène propre de l'Union, Stimuler la recherche et l'innovation sur la production, la distribution, le stockage et les applications finales de l'hydrogène propre.	Excellence, Impact et Implémentation	70% - 100% de 125% des coûts directs	Partenariat public-privé, Subvention suite à appels à projets compétitifs

Annexe 3 : Note sur la prise en compte des enjeux climatiques par les institutions financières

Sandra Rigot, Université Sorbonne Paris Nord, Chaire Energie et Prospérité

Au cours des deux dernières décennies, les acteurs économiques ont été incités à se comporter de manière plus responsable pour faire face aux défis à la fois économiques, sociaux et environnementaux. Autant de défis qui ont été progressivement reconnus par l'Organisation des Nations Unies (ONU) comme un enjeu majeur pour le développement durable de nos sociétés lors de la mise en place de la Commission Brundtland en 1987 puis précisés dans les 17 Objectifs de Développement Durable (ODD) au sein de l'Agenda 2030. Dans la mesure où le respect de ces objectifs implique des investissements² considérables, la mobilisation du système financier semble déterminante. Parce que les institutions financières jouent un rôle crucial dans le financement de l'économie en essayant d'allouer le plus efficacement l'épargne des agents économiques, elles peuvent accélérer la transition énergétique en investissant davantage dans les secteurs bas carbone relativement aux secteurs carbonés.

Dans ce contexte, des initiatives ont émergé pour fixer aux acteurs financiers des objectifs dans l'agenda international. C'est le cas des Principes de l'Équateur (2003) qui fournissent des critères sociaux et environnementaux que les grandes banques doivent considérer lorsqu'elles accordent des financements, ou encore des Principes pour l'investissement responsable (PRI) lancés en 2006 par l'ONU incitant les investisseurs professionnels à intégrer les critères environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) dans leurs décisions d'investissement et leurs pratiques actionnariales. Plus récemment, l'Accord de Paris signé en 2015 marque un tournant car il met l'accent sur le double défi auquel est confronté le secteur financier : d'une part, il doit apporter les financements massifs requis par la transition bas carbone, d'autre part, il encourt des risques financiers liés au changement climatique. Parallèlement, de nombreuses alliances³ et coalitions d'investisseurs privés se sont formées sur la scène internationale afin de promouvoir les pratiques d'investissement responsable, à l'instar de « Net Zero Asset Managers Initiative⁴ » qui regroupe les gestionnaires d'actifs engagés à soutenir les objectifs de zéro émission nette de gaz à effet de serre d'ici 2050 en se retirant notamment des énergies fossiles et des entreprises ne respectant pas les objectifs sur le climat de l'accord de Paris de 2015.

L'ensemble de ces initiatives a participé à l'émergence de ce que l'on appelle la finance durable qui peut se définir comme « l'ensemble des services, produits et procédés financiers ainsi que les arrangements institutionnels et de marché qui contribuent directement et indirectement à la réalisation des ODD » (SFSG⁵, 2019). Cet essor s'inscrit dans la continuité de la démarche de Responsabilité Sociale des Entreprises (RSE) (Quairel-Lanoizelée et

² Ils ont été estimés à \$6,9 trillions par an d'ici à 2030 [OCDE/The World Bank/UN Environment, 2018].

³ Carbon Disclosure Project (2000), Global impact (2000), Global Investor Coaliton (2012), Montreal carbon Pledge (2014), Climate action 100+ (2017), The investor Agenda, (2018)

⁴ Plus de 200 gestionnaires d'actifs représentant 57 000 milliards de dollars d'encours ont adhéré à l'initiative.

⁵ Groupe de travail du G20 appelé Sustainable Finance Study Group

Capron, 2013) à l'œuvre depuis les années 2000. Cette note vise à apporter un éclairage sur la manière dont les institutions financières prennent en considération les risques et opportunités climatiques dans leurs stratégies d'investissement ainsi qu'à identifier les principales limites d'une telle démarche.

Les risques et opportunités climatiques susceptibles d'impacter les institutions financières

Le dérèglement climatique implique des risques et des opportunités qui diffèrent selon les secteurs d'activités. On distingue généralement les risques physiques qui représentent des dommages matériels causés par des événements climatiques extrêmes ou chroniques sur les infrastructures et autres biens, générant des pertes financières importantes pour les entreprises, les gouvernements et les particuliers. Les risques de transition quant à eux sont des risques financiers associés à la transition vers une économie bas carbone liés à la réglementation, à la technologie, au marché et à la réputation. Ces risques ont la particularité d'affecter les entreprises fortement engagées dans des secteurs émetteurs de gaz à effet de serre pour lesquels la transition bas-carbone peut rendre les investissements moins rentables et entraîner des pertes financières pour les investisseurs. Dans l'ensemble, le secteur financier est particulièrement touché par les risques de transition liés à la réglementation climatique (via l'augmentation de la taxe carbone et le renforcement d'exigences réglementaires), car ils engendrent une dévaluation d'actifs financiers à forte intensité de carbone (actifs échoués) - celle-ci pouvant être plus ou moins forte selon la vitesse à laquelle se fait cette transition. Les compagnies d'assurance sont particulièrement touchées par les risques physiques liés à leurs contrats d'assurance non-vie ; les pertes associées aux catastrophes naturelles ayant fortement augmenté ces 30 dernières années en raison du dérèglement climatique. Des travaux récents montrent que ces risques climatiques ont par ailleurs des caractéristiques particulières : ils sont systémiques, endogènes et relèvent de l'incertitude radicale. Toutefois, le réchauffement climatique peut être à l'origine d'opportunités qui sont généralement associées à des réductions de coûts liés à l'amélioration des ressources, l'utilisation de nouvelles sources d'énergie bas carbone (énergies renouvelables) et au développement de produits et services innovants à faible émission de carbone. Tout en contribuant aux efforts mondiaux pour lutter contre le changement climatique, ces opportunités permettent d'améliorer la position concurrentielle des acteurs économiques. Dans le secteur de la finance, il s'agit principalement de nouveaux produits et services financiers verts destinés aux investisseurs responsables.

Comment les institutions financières prennent en compte les ROC ?

Afin d'aligner leurs activités d'investissement sur le scénario 1,5°C, les institutions financières ont mis en place de nouvelles stratégies à travers principalement une démarche d'Investissement Socialement Responsable (ISR) comprenant une grande diversité d'approches; des investissements dans des actifs verts tels les obligations vertes (*green bonds*) ou encore une politique d'octroi de prêts bancaires verts/durables.

Les stratégies ISR comprennent les diverses démarches d'intégration des critères ESG dans les décisions de placement et la gestion de portefeuilles, faisant écho aux trois piliers de la RSE. Concrètement, cela consiste à choisir d'investir dans des entreprises qui prennent en compte dans leur modèle de développement des notions qui ne sont pas uniquement

financières mais de nature sociale et environnementale. On compte cinq approches différentes non exclusives.

Les *stratégies d'exclusion* menées sur la base de critères ESG consistent à évincer les entreprises ne respectant pas les normes ou les conventions internationales (violation des droits de l'homme, normes environnementales, etc.). L'objectif de ces fonds est de dresser une liste noire des secteurs et/ou entreprises ne pouvant pas, par nature, répondre aux exigences éthiques, environnementales et de gouvernance. Les *stratégies positives* consistent à sélectionner des émetteurs sur la base de leur contribution favorable aux ESG comparativement à leurs concurrents. Dans le cadre de ces stratégies, on note l'existence de plusieurs approches parmi lesquelles: *Best-in-class*⁶; *Best-in-universe*⁷, *Best-efforts*⁸. La stratégie relative à *l'engagement actionnarial* vise à faire pression sur les firmes afin qu'elles réaffectent leurs investissements vers les technologies à faible intensité de carbone, ou/et se défassent de certaines activités fortement carbonées. Cette influence peut prendre la forme du vote en assemblée générale, du dépôt de résolution et/ou du dialogue direct avec les émetteurs ou par le biais de réseaux d'investisseurs. Comme pour l'approche *Best-efforts*, les émetteurs retenus ne sont pas forcément les meilleurs sur le plan ESG. En revanche, ce sont ceux vis-à-vis desquels la société de gestion va s'engager dans une démarche active afin d'encourager les mesures allant dans le sens du respect de l'humain et de l'environnement. Les fonds thématiques reposent sur des entreprises ayant, par nature, une activité favorable à l'environnement comme le secteur des énergies renouvelables ou à la société (économie solidaire⁹). *L'impact investing* cible des investissements (en particulier dans des entreprises non cotées) afin de résoudre des problèmes sociaux ou environnementaux. En ce sens, il implique une prise en compte systématique de l'analyse ESG.

Il découle de ces stratégies ISR des pratiques très différentes. A titre d'exemple, au sein d'une approche du type *Best-in-class*, il est possible de voir des fonds utiliser un filtre ESG après le filtre financier ou inversement. Dans le premier cas, la sélection financière domine alors que dans l'autre, la sélection ESG prime. Au regard des méthodes de sélection, une même approche ISR peut mener à la construction de portefeuilles peu comparables. A l'inverse, il est parfois possible de constater de grandes similitudes entre un portefeuille géré selon une démarche ISR et un portefeuille classique non ISR, ce qui peut soulever quelques interrogations sur l'intérêt de certaines approches ISR. En 2020, la stratégie d'investissement durable la plus importante dans la plupart des régions était l'intégration ESG (approche positive) (25000 mds de dollars) suivie de celles impliquant une sélection négative (15000 mds de dollars) et l'engagement actionnarial (environ 11000 mds de dollars) selon le Global Sustainable Investment Review (2021). Entre 2016 et 2020, les stratégies d'intégration ESG et d'engagement actionnarial ont connu un essor important au détriment des stratégies d'exclusion alors prépondérantes en 2016.

Les opportunités d'investissement peuvent également prendre la forme de nouveaux marchés tels que les obligations vertes (*green bonds*) correspondant à de nouveaux instruments pour financer la transition énergétique. A l'instar des obligations, ce sont des titres de créances émis par les États, les banques publiques et privées, les entreprises ou les collectivités locales

⁶ Elle vise à sélectionner/pondérer les meilleurs émetteurs de chaque secteur sans exclure aucun secteur a priori.

⁷ Elle vise à sélectionner/pondérer les meilleurs émetteurs de l'univers de départ.

⁸ Elle cherche à ne retenir en portefeuille que les émetteurs ayant consenti le plus d'efforts en matière de développement durable. Les émetteurs ayant le plus progressé ne sont pas forcément les meilleurs de l'univers en matière ESG

⁹ Les fonds solidaires financent uniquement des projets socialement utiles n'ayant pas accès aux financements bancaires classiques.

pour financer des activités ou des projets durables. Toutefois, elles présentent des spécificités. Contrairement aux obligations souveraines ou aux obligations d'entreprise, ce n'est pas l'émetteur qui est évalué mais le projet sous-jacent qui est financé par ce moyen, et donc les impacts environnementaux et sociaux associés au projet. La première émission a été réalisée par la Banque européenne d'investissement en 2007 pour un montant de 600 millions d'euros. Si le plus grand marché d'obligations vertes est le marché américain, qui représente 258,9 milliards de dollars, on retrouve les acteurs publics européens parmi les plus gros émetteurs en 2019 : la banque publique d'investissement allemande (KfW), le trésor allemand et l'État français. Dans la mesure où il est difficile d'obtenir des indicateurs chiffrés pertinents comparables et vérifiables des projets ciblés, la plupart des sociétés de gestion ont développé leur propre méthodologie d'évaluation d'un projet vert ou social.

Les prêts bancaires verts et durables constituent également de nouveaux produits susceptibles de participer au financement de la transition énergétique et écologique. On en distingue plusieurs types : certains prêts sont accordés à des emprunteurs désireux de financer un projet contribuant positivement à l'environnement et de bénéficier de conditions avantageuses (taux d'intérêt plus faibles ou modalités de remboursement flexibles). L'impact environnemental du projet est alors évalué par une tierce partie (société d'audit, agence de notation) ; d'autres prêts prennent la forme d'une ligne de crédit dont les modalités dépendent de la notation extra-financière de l'entreprise. À travers les prêts bancaires verts, les firmes sont incitées à orienter leur stratégie d'entreprise vers des pratiques vertes en bénéficiant de conditions de financement moins strictes. En matière de distribution de ces produits, les banques semblent avoir pris un certain retard, constat d'autant plus surprenant qu'elles jouent un rôle central dans l'industrie financière (gestionnaires d'actifs, intermédiaires lors des émissions sur le marché obligataire, émetteurs et acheteurs de titres financiers, prêteurs auprès des ménages...).

Par ailleurs, la réalisation des objectifs durables et climatiques par les acteurs financiers passe par une adaptation de leur gestion des risques. Pour les banques, cela consiste à intégrer les facteurs climatiques dans les cadres de risque de crédit traditionnels, par exemple, par le biais de la méthode de notation des contreparties. Pour les gestionnaires d'actifs, la prise en compte des enjeux climatiques se fait principalement à travers l'intégration des approches de mesure des risques ou de techniques comme l'analyse des scénarios, le stress test, la *Value-at-Risk*...Elles ont pour utilité de calculer la sensibilité du portefeuille aux risques climatiques.

Ainsi, si les acteurs du secteur financier se sont progressivement adaptés en diversifiant leur gamme, il n'en demeure pas moins que cette différenciation leur a permis de gagner des parts de marché. Dès lors, il est intéressant de voir dans quelle mesure ces nouveaux produits impulsent un changement dans le processus d'investissement permettant d'atteindre les objectifs de durabilité.

Les principales limites rattachées à ces nouvelles stratégies d'investissement responsables

Un certain nombre de critiques peuvent être adressées à l'encontre des produits financiers se réclamant de la finance durable. Une première limite porte sur les classes d'actifs dans lesquelles investissent les fonds ISR, une deuxième concerne les techniques de gestion utilisées par les sociétés de gestion, la troisième a trait aux devoirs fiduciaires ; enfin et surtout la dernière met l'accent sur le manque de transparence en matière d'informations extra-financières.

Il est légitime de se demander dans quelle mesure certains actifs sont susceptibles d'être compatibles avec une approche ISR. Cette question se pose notamment pour les actifs monétaires et les obligations souveraines. Les actifs monétaires qui représentent une part importante des encours ISR ont une durée de vie courte par définition, ne permettant pas une politique d'engagement forte. Il en va de même pour les obligations souveraines dans la mesure où les politiques publiques qui ne vont pas toujours dans le sens des engagements environnementaux et climatiques pris par les gouvernements. Dans le cas des obligations vertes, outre la taille limitée de ce marché (0,4 % de l'encours du marché obligataire mondial en 2018 - Quang et al., 2019), force est de constater que ces instruments restent encore peu encadrés malgré la formalisation des *Green Bond Principles*¹⁰. L'émission d'une obligation verte ne contraint pas les entreprises à respecter leur engagement d'utilisation des fonds empruntés pour un projet environnemental, comme c'est le cas pour n'importe quelle obligation (Ekeland et Lefournier, 2019). Elles ne sont pas émises à un prix supérieur relativement aux obligations traditionnelles et se négocient à des prix similaires : il n'y a pas de prime supplémentaire pour les investisseurs ayant des préoccupations vertes. Leur fonctionnement ne diffère donc pas des obligations traditionnelles. Au final, la création d'un tel marché a une contribution très faible dans la réorientation des flux de financement vers des projets verts au regard des investissements nécessaires à la transition écologique et énergétique.

Au-delà de la question des classes d'actifs compatibles avec l'ISR, il est utile de s'intéresser aux techniques de gestion utilisées par les gérants d'actifs. Dans le cadre d'une gestion indicielle, ces derniers ne suivent pas une stratégie active mais passive consistant à répliquer parfaitement des indices de référence. La réplication indicielle est généralement réalisée en achetant dans les bonnes proportions l'intégralité des titres composant l'indice répliqué dont les plus importants se situent plutôt sur une trajectoire carbone de 5°C (4,9°C) pour le MSCI Europe (World). Dans ce cas, les marges de manœuvre sont limitées en matière d'engagement. De plus, dans la mesure où la plupart des investisseurs institutionnels font appel à une pléthore de gérants externes qui sont mis en concurrence¹¹ au regard de leur performance à court terme, leur capacité à participer directement aux initiatives des actionnaires est limitée. Un autre type de délégation illustre à quel point ces investisseurs qualifiés sont de moins en moins engagés dans les entreprises : l'externalisation des droits de vote à des firmes de conseil de vote (*proxy advisors*) lors des assemblées générales où généralement la part des résolutions portant sur l'environnement et le climat reste assez faible.

Plus récemment, un autre obstacle semble émerger concernant la responsabilité fiduciaire des investisseurs institutionnels dont les fonds de pension. En effet, dans la mesure où ils collectent de l'épargne auprès d'épargnants pour les gérer par capitalisation, ces fonds doivent respecter des devoirs fiduciaires (loyauté, soin). Autrement dit, ils sont tenus de gérer les actifs qui leur sont confiés de manière responsable et prudente en maximisant leur rendement dans l'intérêt exclusif des bénéficiaires finaux ; la prudence étant évaluée au regard des principes de diversification de portefeuille. Mais depuis plusieurs années, les gestionnaires de fonds de pension individuels - fonds 401 (k)- ont été progressivement autorisés à prendre en compte dans leurs investissements les critères ESG. Cette politique d'investissement durable vient d'être remise en cause aux Etats-Unis avec le vote au Sénat d'un texte baptisé « *capitalisme woke* » (1er mars 2023) au motif qu'elle nuirait à la performance¹² des fonds de pension. En

¹⁰ Lancés en janvier 2014 à New York, ils promeuvent « leur transparence et leur intégrité » avec un objectif de standardisation du marché des obligations vertes.

¹¹ Voir l'article Plihon D. & Rigot S. Pourquoi manque-t-on d'investisseurs à long terme ? Revue d'Economie Financière « Gouvernance d'entreprise » 130 : 113-129.

¹² La plupart des articles académiques sur la finance durable portent sur les rendements des fonds ISR en les comparant avec ceux des fonds conventionnels et il n'existe pas de résultats consensuels (voir

effet, cette politique implique des désinvestissements dans les entreprises issues des secteurs très émetteurs qui sont précisément celles qui enregistrent des hausses de cours boursiers record avec la flambée des prix des hydrocarbures depuis 2022. Il en découle un manque à gagner pour les bénéficiaires finaux constitutif d'une violation des devoirs fiduciaires. Si le président américain a dit son intention d'utiliser son veto en rappelant que cette réglementation n'était pas obligatoire mais laissée à la discrétion des gestionnaires d'actifs, les effets collatéraux se font déjà sentir : le patron de Vanguard, Tim Buckley, a déjà annoncé qu'il quittait la *Net Zero Asset Managers Initiative*. Ce qui va l'encontre des engagements climatiques des grands gestionnaires de fonds.

Enfin, le manque de transparence lié à un faible niveau de divulgations d'informations extra-financières constitue l'une des limites les plus importantes de la finance durable. En effet, l'ensemble des produits verts et durables reposent sur l'idée que les acteurs financiers disposent de toute l'information nécessaire sur les dimensions ESG des activités des entreprises pour prendre leur décision de financement. Or, cette information de nature extra-financière est aujourd'hui très insuffisante car elle repose sur le *reporting* effectué essentiellement sur une base volontaire à travers des référentiels durables (SASB, GRI, IIRC...) et/ou réglementaire mais dans une moindre mesure. En France, par exemple, la loi NRE (2001), la loi Grenelle II (2010) puis celle sur la transition énergétique et la croissance verte (2015) ont contraint progressivement les entreprises cotées à divulguer dans leur rapport annuel des informations sur les conséquences sociales et environnementales de leurs activités. Cette obligation a été élargie à l'ensemble des entreprises par la loi Pacte (2019). De telles informations sont également diffusées *via* les notations et indices produits par des tierces parties comme les agences de notation financières et extra-financières ou encore les cabinets d'audit qui agissent comme « seconde opinion ». Au niveau européen, on peut également citer la directive 2014/95/EU - également appelée directive sur l'information non financière (NFRD).

Depuis 2015, les exigences en matière de divulgations se sont élargies pour faciliter la compréhension des risques climatiques qui pèsent sur les sociétés. Afin de les aider à identifier et transmettre aux investisseurs les informations sur les risques et les opportunités qui découlent du changement climatique, le président du Conseil de stabilité financière (CSF), Mark Carney a lancé lors de la COP21 à Paris, une initiative internationale conduisant à la mise en place de la *Task Force on Climate-related Financial Disclosure* (TCFD), chargée d'élaborer des recommandations relatives à la transparence financière. Selon le CSF, les investisseurs financiers n'ont pas suffisamment pris conscience de la rapidité avec laquelle le réchauffement climatique affecte les investissements de tous les secteurs de l'économie mondiale, y compris les actifs échoués du secteur des combustibles fossiles et des industries qui en dépendent. Ces asymétries d'informations peuvent les conduire à se tromper dans le prix ou la valeur des actifs, entraînant une mauvaise répartition du capital au niveau microéconomique et une instabilité financière au niveau macroéconomique.

En ce sens, la transparence climatique à travers les divulgations d'information est considérée comme un outil de régulation pour lutter contre le réchauffement climatique. En effet, dans la mesure où elle permet de réduire l'asymétrie d'information sur les risques climatiques entre l'entreprise et ses parties prenantes (notamment ses investisseurs), la transparence climatique est censée faire évoluer le comportement d'investissement des acteurs économiques et financiers afin de soutenir des activités bas-carbone. Elle représente une condition préalable à la réorientation des investissements vers les secteurs d'activité plus respectueux de l'environnement. Ce lien de causalité entre transparence et comportement d'allocation

l'article de Granier et Rigot, La finance durable: où en est la recherche académique ? *Entreprise et Société*, 9 : 149-173)

s'appuie sur la théorie des marchés efficients, selon laquelle les divulgations d'informations doivent permettre aux acteurs de prendre des décisions plus éclairées au regard des risques et opportunités climatiques.

Toutefois, cette condition nécessaire est loin d'être suffisante et il est important d'établir une distinction entre transparence et divulgation d'informations climatiques. Si la divulgation consiste à diffuser de manière volontaire des informations de nature très diverse, la transparence climatique peut être définie comme un processus comportant différentes étapes, tel un *continuum*, en fonction de la nature et des caractéristiques des divulgations. Ces étapes peuvent aller de l'absence de transparence, avec aucune divulgation, à la transparence la plus complète, rendue possible grâce à la diffusion d'informations fiables, pertinentes et comparables, autrement dit une information climatique normalisée, comme c'est déjà le cas pour les informations financières. De plus, une transparence efficace exige que ces divulgations d'informations climatiques atteignent le marché et soient correctement interprétées et utilisées par les acteurs financiers. C'est pourquoi la hausse du niveau des divulgations n'améliore pas nécessairement la transparence du système financier (Nielsen and Madsen 2009; Le Quang 2019).

Conscients de la faible qualité des informations climatiques divulguées et des risques de *greenwashing* qui en découlent, les régulateurs ont jugé nécessaire de renforcer davantage les exigences en matière de divulgations. Malgré le succès de la TCFD¹³ qui est devenue très rapidement un référentiel international en matière de reporting climatique, des études¹⁴ ont montré que les niveaux de transparence des sociétés restaient encore très hétérogènes selon les pays et les secteurs d'activités. Pour celles qui ont des pratiques de divulgations plutôt faibles voire nulles, il en découle un besoin de régulation afin de les contraindre à diffuser davantage d'informations sur les risques climat. En revanche, pour les sociétés plus transparentes, il en résulte un besoin de normalisation de ces informations pour renforcer les données chiffrées et plus généralement pour les rendre plus fiables et comparables. C'est précisément ce que vise la directive Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) ainsi que deux projets de normes climatiques.

La directive CSRD vise à remplacer la directive NFRD afin de renforcer les objectifs de l'UE en matière de finance durable, en consacrant le principe de double matérialité, centrale dans la politique de développement durable de l'Europe. Elle doit étendre les exigences de la NFRD et les appliquer à l'ensemble des entreprises de plus de 250 salariés (même si le texte cible avant tout les 50 000 plus grandes sociétés de l'Union européenne) tout en améliorant le contenu des rapports extra-financiers : les entreprises devront ainsi communiquer des informations relatives aux problématiques de durabilité, de changement climatique et évaluer l'impact de leur activité sur l'environnement et la société en général. Le processus de reporting se trouvera simplifié grâce à l'interopérabilité des critères ESG, des standards homogènes devant être élaborés par l'EFRAG. Quant aux deux initiatives actuellement en cours aux niveaux européen et international, il s'agit respectivement de la norme de l'EFRAG dite ESRS

¹³ Fin de 2020, plus de 110 gouvernements dont ceux du Canada, du Japon, de la Suède et de la Belgique, ont soutenu la TCFD. Certains gouvernements comme la Nouvelle-Zélande, la France et le Royaume-Uni, ont franchi une étape supplémentaire et ont annoncé leur intention de rendre obligatoires les rapports sur le climat alignés sur la TCFD.

¹⁴ Voir Amar J., S. Demaria S. et Rigot S, (2022) « Enhancing financial transparency to mitigate climate change: Towards a Climate Risks and Opportunities Reporting Index, Environmental Modeling and Assessment » 27: 425–439 et Amar J., S. Demaria S. et Rigot S, « Transparence climatique : où en sont les plus grandes capitalisations mondiales? », Revue Française de Comptabilité, décembre 2022.

"*European Sustainability Reporting Standards*" et celle de l'ISSB dite IFRS S2 "Informations relatives au climat" qui ont pour objectif affiché de promulguer une norme durable liée au climat. L'objectif final étant de fournir aux investisseurs des informations sur les risques et les opportunités climatiques afin de les aider à prendre des décisions éclairées en matière d'allocation de portefeuilles.

En complément de ces initiatives, la mise en place d'une taxonomie sur les activités durables par la Commission européenne en 2020, cherche à renforcer la pertinence et la comparabilité des informations extra financières. Elle constitue un référentiel technique établissant ce qu'est une activité économique durable sur le plan environnemental et permettant aux investisseurs de communiquer dans quelle mesure ils financent des activités durables et vertes. En se basant sur la classification des secteurs industriels du code NACE, elle couvre plus de 90 % des émissions de gaz à effet de serre en Europe. Comprenant six objectifs environnementaux (atténuation et adaptation au changement climatique, usage de l'eau, économie circulaire, contrôle de la pollution et protection des écosystèmes), elle détermine leur hiérarchie en faisant prévaloir le principe « *do not significantly harm* » envers aucun des critères.

Ce degré d'alignement à la trajectoire de transition européenne se traduit par la publication d'indicateurs financiers qui diffèrent selon le type d'entreprise. Pour les acteurs non-financiers, les 3 indicateurs exigés sont : part du chiffre d'affaires découlant d'activités alignées ; la part des CAPEX relative à des activités alignées ainsi que la part des OPEX relative à des activités alignées. En lien avec ces indicateurs, l'entreprise doit également indiquer ses méthodes d'identification des activités éligibles et alignées ainsi que la liste de ces activités, et décrire les méthodes de calcul des indicateurs. Pour justifier les montants de CAPEX alignés, l'entreprise doit présenter son plan d'investissement de transition validé par le Conseil d'administration, ayant pour objectif d'étendre le périmètre des activités alignées à horizon 5 ans (ou jusqu'à 10 ans, sur dérogation devant être justifiée).

Pour les institutions financières, les indicateurs se différencient selon les métiers. A titre d'illustration, les gestionnaires d'actifs doivent divulguer la moyenne des investissements dans les activités alignées avec la taxonomie des entreprises sous-jacentes par rapport au total de l'actif de gestion. Les banques doivent divulguer la *Green Asset Ratio* (GAR) représentant les actifs finançant des activités alignées avec la taxonomie en proportion du total des actifs couverts. Les compagnies d'assurances-vie doivent communiquer sur la moyenne pondérée des investissements associés avec des activités alignées avec la taxonomie et celles non vie sur le pourcentage de primes brutes perçues en assurances (ou réassurance) non vie correspondant à des activités alignées avec la taxonomie.

Cependant, bien que ces initiatives tendent à améliorer la transparence liée aux risques climatiques, il n'en reste pas moins que les divulgations ne sont qu'un prérequis pour aligner le comportement des entreprises sur les objectifs nationaux de réduction des gaz à effet de serre. En effet, pour être efficace, la transparence nécessite que ces informations soient correctement interprétées et utilisées par les acteurs du marché. Si ce n'est pas le cas, la transparence doit rester une option parmi d'autres pour lutter contre le changement climatique et non la principale.

Annexe 4 : Réinventer la planification à l'heure de la transition écologique

Dominique Plihon, Université Sorbonne Paris Nord, Chaire Energie et Prospérité

La transition écologique nécessite une transformation profonde de nos institutions et de l'appareil productif, mais aussi des changements de comportement des acteurs privés et publics. Nous ne sommes pas encore sur la bonne voie : aucun pays n'a réussi à atteindre les objectifs de réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES) fixés par l'accord de Paris sur le climat, en 2015.

Un changement de paradigme est nécessaire, donnant à la planification un rôle stratégique pour faire face aux défis posés par la transition écologique. Cette note tente de définir les contours de cette planification en s'appuyant notamment sur les expériences passées et récentes. Seront successivement analysés (1) les obstacles à la transition écologique qu'il convient de surmonter, (2) les leçons des expériences de planification passées et récentes et (3) les pistes permettant de réinventer la planification française pour promouvoir la transition écologique.

1/ Les obstacles à la transition écologique

Nos sociétés sont mal préparées à la transition écologique parce qu'elles souffrent d'un double handicap : d'une part, un problème d'incohérence temporelle, entre l'horizon de long terme de la transition, et l'horizon court de la plupart des acteurs économiques et politiques ; et d'autre part, un problème de coordination et de mobilisation de la société face aux défis écologiques.

La question de l'horizon temporel et de l'incertitude

La dégradation de la planète et du climat est un processus de long terme. Or, l'horizon décisionnel de la plupart des acteurs privés et publics est trop court pour prendre en compte ses conséquences catastrophiques et collectives qui s'échelonnent dans le futur. C'est la fameuse « tragédie de l'horizon » énoncée par Mark Carney (2015)¹⁵.

Ce biais court-termiste est particulièrement important pour les acteurs financiers, et provient notamment des règles de fonctionnement des marchés. Ainsi, est-il possible d'expliquer le déficit d'investisseurs à long terme par les règles concernant la gouvernance des investisseurs institutionnels (Plihon & Rigot, 2018)¹⁶.

Jusqu'ici, les acteurs financiers et les autorités financières ont développé une approche des risques liés au climat purement financière et fondée sur les mécanismes de marché, par des instruments de couverture et des règles prudentielles, avec l'hypothèse que ces risques sont probabilisables.

¹⁵ Mark Carney (2015), « Breaking the tragedy of the horizons – Climate change and financial stability », Speech given at Lloyds of London, <https://www.bankofengland.co.uk/speech/2015/breaking-the-tragedy-of-the-horizon-climate-change-and-financial-stability>.

¹⁶ D. Plihon et S. Rigot (2018), « Les intermédiaires financiers publics face au changement climatique », *Revue Economique*

Or, les aléas découlant du changement climatique relèvent largement du domaine de l'incertitude radicale, non probabilisable, au sens de Knight (1921)¹⁷. En effet, les effets du changement climatique ont des caractéristiques particulières : ils sont irréversibles, cumulatifs et systémiques, ce qui les rend largement imprévisibles. Cette imprévisibilité provient du caractère endogène des interactions entre l'ensemble des acteurs publics et privés dans un système économique globalisé et financiarisé qui a tendance à amplifier plutôt qu'à amortir les effets du changement climatique. Étant endogènes et systémiques, ces effets ne peuvent être traités comme des risques probabilisables susceptibles d'être évalués à partir de l'expérience passée. D'autres approches, non conventionnelles et hors marché, sont nécessaires

L'un des facteurs majeurs de cette incertitude – qualifié de risque de transition – est lié aux politiques futures menées par les autorités publiques dans le cadre de la transition. Ces politiques, concernant par exemple la fiscalité et la réglementation, sont susceptibles d'avoir un impact important sur l'environnement des acteurs économiques et financiers. S'ils ne disposent pas d'information claire sur ces politiques futures, ces acteurs peuvent être amenés à différer ou à renoncer à leurs décisions. Comme le montre l'analyse économique, l'incertitude est l'un des principaux obstacles à l'investissement.

La question démocratique

Le succès de la transition vers une économie non carbonée repose en grande partie sur le changement de comportement de l'ensemble des acteurs de la société. Ce résultat ne peut être obtenu que si plusieurs conditions sont réunies quant au fonctionnement de la société. Les deux conditions principales correspondent à deux principes associés à la définition de la démocratie et du « développement durable », énoncés par le rapport Brundtland publié par les Nations unies en 1987¹⁸ : le principe de participation et d'information, et le principe de solidarité et de justice.

Le principe 10 de la déclaration de Rio (1992) met également en exergue la nécessité du principe de participation et de l'information de chacun : « *La meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient. ... Les États doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation du public en mettant les informations à la disposition de celui-ci. Un accès effectif à des actions judiciaires et administratives, notamment des réparations et des recours, doit être assuré.* »¹⁹ .

L'importance du principe de solidarité et de justice sociale a été illustré par le mouvement des Gilets jaunes. Le déclenchement de ce mouvement en 2018 a été provoqué par un sentiment d'injustice à la suite de la hausse des prix du carburant décidée par les pouvoirs publics, dont l'impact aurait été considérable sur les travailleurs pauvres, au cœur de ce mouvement social.

¹⁷ Hugues Chenet et alii (2019), « Climate-related financial risk in a world of uncertainty », Working Paper 2019 - 13, UCL Institute for Innovation and Public Purpose.

¹⁸ Le rapport Brundtland est le nom donné à une publication, officiellement intitulée « Notre avenir à tous » (Our Common Future), rédigée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies, présidée par la Norvégienne Gro Harlem Brundtland.

¹⁹ Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement, 1992.

2/ Les leçons de l'expérience de planification passée et récente

La plupart des pays capitalistes dits avancés se caractérisent aujourd'hui par l'absence d'institutions tournées vers le long terme. Dans le domaine financier, il y a un déficit d'investisseurs de long terme, susceptibles de contribuer efficacement au financement de la transition, tels que les banques publiques de développement. Et dans le domaine écologique, la planification stratégique est absente, sauf dans un pays comme la Suède²⁰, alors que cette démarche existe dans les grandes entreprises.

La planification indicative et concertée française (1946 – 1992)

À la suite de la Seconde Guerre mondiale, la France s'est dotée d'institutions et d'instruments pour reconstruire l'économie et adapter la société dans une perspective longue : ce fut en particulier le rôle du Commissariat général du Plan (CGP), créé en 1946 par le général de Gaulle, alors chef du gouvernement provisoire. Il est intéressant de noter que, au départ, la création du Plan a été décidée sous l'influence des États-Unis, pour canaliser l'aide accordée dans le cadre du plan Marshall.

Le premier « Plan de modernisation et d'équipement » a été mis en place en 1946 par Jean Monnet. La planification française a fonctionné jusque dans les années 1990 (10 plans, la plupart quinquennaux se sont succédé). Selon Pierre Massé, commissaire au Plan en 1959-65, et théoricien la planification, celle-ci avait une triple fonction qui en a fait son originalité :

- Éclairer l'avenir pour dépasser l'immédiat, définir les enjeux du moyen et long terme, et programmer les investissements publics qui vont structurer l'économie.
- Assurer la cohérence des politiques publiques en articulant les objectifs et les moyens permettant de les atteindre.
- Promouvoir la concertation pour favoriser la conscience de ce qui est important et entraîner l'adhésion des acteurs concernés.

Théoricien de la décision en avenir incertain, Pierre Massé est connu pour avoir qualifié le Plan de « réducteur d'incertitude », dans son ouvrage au titre évocateur « *Le plan ou l'anti-hasard* » publié en 1965²¹. Pour justifier l'utilité de la planification, Pierre Massé part d'une critique de la théorie du « marché généralisé » défendue notamment par Gérard Debreu, en montrant que toutes les éventualités futures ne peuvent être connues à l'avance. Ce qui est particulièrement le cas pour les investissements à long terme, tels que la construction d'un barrage, pour lequel il n'existe pas de marché, ni de prix reflétant les services futurs. Le plan est comparé à une « vaste étude de marché » dont l'instrument serait le tableau économique d'ensemble imaginé par François Quesnay (1759), et repris par Leontief (1941). Le processus de planification était fondé sur la concertation au sein des « commissions de modernisation », créées dès le 1^{er} plan, au nombre d'une vingtaine, qui regroupent pour chaque secteur de l'économie l'ensemble des acteurs concernés : administrations publiques, patronat, syndicats, usagers, universitaires.

Le contenu et les méthodes de la planification française ont évolué dans le temps. Ainsi, le Ve Plan (1966 – 1970) innove en introduisant une « programmation en valeur », qui concerne

²⁰ La planification est également présente dans les pays nouvellement industrialisés, comme la Chine et la Corée du Sud.

²¹ Pierre Massé (1965), *Le plan ou l'anti-hasard*, Gallimard, NRF Idées.

notamment l'évolution des prix et des revenus, au moment où la politique des revenus était inscrite à l'agenda des gouvernements dans une perspective de réduction des inégalités.

À la différence de la planification dirigiste qui prévalait alors dans les pays du bloc soviétique, la planification française était indicative, même si elle était considérée comme une « ardente obligation » par les responsables politiques, de Charles de Gaulle à Pierre Mendès France. L'idée était que, étant élaborés dans le cadre d'un débat et d'une concertation entre les « partenaires » politiques, économiques et sociaux, sous l'égide de l'État, la planification et ses objectifs s'imposeraient d'eux-mêmes à ces derniers.

Il y a un consensus pour attribuer un rôle important à la planification dans l'évolution économique et sociale de la France au cours des « Trente Glorieuses ». Ainsi, Jean-Jacques Carré, Paul Dubois et Edmond Malinvaud, mentionnent le rôle « stimulant et pondérateur » du Plan dans leur explication des bonnes performances économiques en termes de croissance de la production, des revenus, de l'emploi, de réduction des inégalités dans la France de l'après-guerre²². De leur côté, les économistes institutionnalistes, qui ont étudié les capitalismes nationaux dans leur diversité, ont montré l'importance des institutions et des politiques publiques dans les capitalismes européens, qualifiés de « capitalismes coordonnés »²³. La France a été un des seuls pays capitalistes européens, avec la Suède, à avoir mis en place un système de planification dans l'après-guerre.

La planification n'a pas été le seul instrument au service des politiques publiques à moyen et long terme. La France a également mis en place un système de contrôle du crédit, sous l'égide du Trésor public et de la Banque de France, qui a joué un rôle important dans l'allocation des financements dans l'économie française en fonction des priorités politiques (Monnet, 2018)²⁴. La nationalisation de la Banque de France et des quatre principales banques de dépôt en 1945, ainsi que la création du Conseil national du crédit présidé par le ministre des Finances et chargé de veiller aux orientations de la politique monétaire, illustrent la subordination du crédit et de la monnaie aux objectifs économiques et sociaux du gouvernement.

Les limites de la planification française étaient importantes, et liées à l'idéologie « productiviste » et « colbertiste » qui dominait la France au lendemain de la guerre. Le Plan français s'est inscrit dans la logique des « Trente Glorieuses », marquée par la recherche d'une croissance rapide, qui était l'un de ses principaux objectifs. Le développement des secteurs de l'énergie, des transports et du logement figurait parmi les objectifs prioritaires des plans successifs. Mais les enjeux écologiques, tels qu'ils sont mis en avant aujourd'hui, étaient largement absents des préoccupations du Plan à ses débuts. Par ailleurs, la philosophie « centralisatrice » et colbertiste de l'État s'imposait au détriment du rôle des territoires, dont le rôle est reconnu comme essentiel aujourd'hui pour la transition écologique, mais qui ne furent que tardivement intégrés dans le processus de planification, à l'occasion du IV^e Plan (1962 – 1965). Ces missions territoriales ont été confiées à une institution distincte du CGP, la Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire – la Datar - créée en 1963.

²² Jean-Jacques Carré, Paul Dubois et Edmond Malinvaud (1972), *La croissance française, un essai d'explication causale de la croissance économique de l'après guerre*, Le Seuil.

²³ Barry Eichengreen (2006), « *The European coordinated economy capitalism since and beyond 1945* », Princeton University Press.

²⁴ Eric Monnet (2018), « *Controlling Credit, Central Banking and the Planned Economy in Postwar France, 1948-1973* », Cambridge University Press.

L'originalité du modèle écologique suédois

La question écologique est centrale dans la société suédoise depuis plusieurs décennies. La Suède affiche des performances écologiques supérieures à la moyenne européenne, notamment pour les émissions de CO₂, le développement des énergies renouvelables, le traitement des déchets, la préservation de la biodiversité. Ces bons résultats sont liés aux dotations favorables de la Suède en énergies renouvelables, hydrauliques en particulier. Mais elles sont également le résultat d'une politique énergétique ambitieuse et précoce, menée depuis le premier choc pétrolier de 1973²⁵. Depuis cette date, la consommation des produits pétroliers a été divisée par deux. Il y a eu un découplage relatif entre la croissance économique et la consommation d'énergie : cette dernière est restée stable, tandis que le PIB a été multiplié par 2,4 de 1970 à 2012²⁶. L'objectif des autorités suédoises est d'éliminer les énergies fossiles dans les transports routiers avant 2030, et d'atteindre la neutralité carbone dès 2045, en avance sur les objectifs fixés par l'accord de Paris de 2015.

La Suède s'est dotée d'un cadre institutionnel et réglementaire adapté à ses objectifs écologiques. C'est ainsi qu'un code de l'environnement a été mis en place en 1999, avec des lois et des tribunaux spécifiques aux questions environnementales. Par ailleurs, les autorités suédoises ont eu un large recours aux instruments économiques pour promouvoir leurs objectifs écologiques. Le pays a programmé dès 1991 l'évolution à moyen-long terme du prix du carbone, couplée avec une réforme de la fiscalité, comprenant un important volet écologique. La Suède a mis en place une taxe sur les émissions de CO₂, en allégeant en contrepartie (et même pour un montant supérieur) les charges pesant sur le travail et sur les entreprises. Cette taxe a cru progressivement : introduite à 27 €/t en 1991 pour les particuliers et 7 €/t pour les entreprises industrielles et agricoles, elle a atteint, en 2018, 120 €/t pour les particuliers comme pour les entreprises qui ne sont pas soumises au système européen d'échange de droits d'émission. Ce niveau élevé de taxation est bien accepté notamment parce qu'il a été programmé à l'avance et a fait l'objet d'une concertation avec les particuliers et les entreprises²⁷.

Comme la France, la Suède a mis en place un système de planification indicative au lendemain de la Seconde Guerre mondiale²⁸. Mais, contrairement à la France, ce pays a préservé cette institution, et l'a adaptée pour répondre aux enjeux de la transition écologique et fixer des objectifs à long terme. 16 objectifs stratégiques à long terme de qualité de l'environnement (OQE) ont été fixés, concernant notamment le climat, la couche d'ozone, la biodiversité, les forêts durables...

Autre différence importante avec l'expérience française : la planification suédoise est décentralisée, avec une planification régionale intégrée, l'échelon local et régional jouant un rôle clé dans la mise en œuvre des OQE. La baisse globale des émissions de GES résulte entre autres de la réduction des émissions dues au chauffage des bâtiments, réalisée grâce aux rénovations massives qui ont réduit la consommation globale et ont fait disparaître le chauffage au fuel, au GPL et au gaz, dont la part reste toujours importante en France. Cette réduction offre un exemple intéressant d'une planification locale menée par les collectivités suédoises : depuis le début des années 1980, celles-ci ont joué le rôle moteur dans la transformation du mix énergétique local, en investissant massivement dans la cogénération,

25 Andreas Rüdinger (2014), « La transition énergétique en Suède : un aperçu du modèle scandinave », Les cahiers de Global Chance, n° 36, novembre.

26 OCDE, « Examen environnemental de la Suède », février 2015

27 Thierry Weil (2018), « En Suède, « la taxe carbone » est bien acceptée », Reporterre, 14 novembre 2018

28 Tibor Hottovy (1977), « Prévision et planification à long terme en Suède », Futuribles, n° 9.

en planifiant et développant les réseaux de chaleur pour couvrir l'ensemble de la commune, en utilisant la géothermie et la bioénergie selon la disponibilité locale, en menant elles-mêmes les travaux d'isolation, etc. La transition énergétique a profité d'une tradition suédoise beaucoup plus ancienne : qu'il s'agisse des services sociaux, de l'éducation ou du chauffage des bâtiments publics et privés, l'État central se contente de définir les obligations de résultat et de fournir le cadre légal, les politiques étant menées par les collectivités locales.

3/ Adapter la planification aux enjeux du 21ème siècle

Le retour de l'Etat interventionniste et de la planification

Le régime de politique économique néolibéral qui s'est imposé à partir des années 1980 se caractérisait par la primauté du marché et le périmètre limité de l'Etat. Ce paradigme est périmé pour deux raisons principales : nous sommes entrés dans un monde marqué par de fortes externalités, dont le marché ne tient pas compte spontanément, et en second lieu, par l'allongement de l'horizon temporel avec la nécessité de prendre en compte les conséquences lointaines des décisions prises aujourd'hui.

De plus, le cadre analytique dominant – traiter les externalités environnementales par les prix, notamment celui du carbone, pour laisser ensuite jouer les mécanismes de marché – ne fonctionne pas. Le pilotage par les prix n'est pas accepté socialement (effet Gilets jaunes). La puissance publique doit introduire des instruments de régulation complémentaires, et prendre en charge une partie des investissements de long terme.

Nous sommes donc en train de nous éloigner du paradigme néolibéral qui domine depuis quatre décennies. La crise écologique, qui avait été largement ignorée, contribue fortement à cette rupture, avec ses fortes externalités et son horizon de long terme

Ce qui marque le retour de l'Etat stratège et de la planification²⁹.

Ce changement de paradigme doit amener à réinventer la planification à plusieurs niveaux. Celle-ci pourrait avoir une double fonction : (i) renforcer la cohérence des politiques et des institutions publiques, (2) articuler les politiques territoriales et sectorielles avec les enjeux écologiques nationaux et européens et (3) articuler les politiques macroéconomiques avec les objectifs écologiques.

On retrouverait ainsi, en l'adaptant aux enjeux de la période actuelle, l'esprit de la planification indicative décrit par Pierre Massé en 1965 (cf infra p. 3).

3.1 Renforcer la cohérence des politiques publiques au service de la transition écologique

Le nouveau gouvernement, mis en place en 2022, veut mettre la planification écologique au centre de son action. Ce qui s'est traduit, sur le plan institutionnel, par la création d'un Secrétariat général à la planification écologique, rattaché à la Première ministre, dispositif complété par les deux ministères de la Transition écologique, et de la Cohésion des territoires et de la Transition énergétique. Cette responsabilité écologique au sommet de l'État a pour but de réduire le retard pris lors du précédent quinquennat. Car pour le respect des objectifs

²⁹ Jean-Pisani-Ferry, « L'Etat a perdu la capacité à prendre des risques », dans « La planification, une idée d'avenir », *L'Économie politique*, n° 89, janvier-février-mars 2021.

de réduction de 40% des émissions de gaz à effet de serre en France d'ici 2030 fixés par la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), le compte n'y est pas.

Le premier rôle du nouveau dispositif gouvernemental devrait être de lever les obstacles qui sont à l'origine du non-respect des objectifs de la SNBC, mise en œuvre depuis 2015. La SNBC apparaît comme un catalogue de bonnes intentions. Ainsi, celle-ci ne comporte pas de programmation des moyens financiers et des investissements supplémentaires pour atteindre ses objectifs, estimés de 14 à 30 milliards par an par l'ACE. Par ailleurs, les stratégies sectorielles de la SNBC ne proposent pas de lecture territoriale. A titre d'illustration, la loi de programmation pluriannuelle de l'énergie ne se risque pas à proposer les trajectoires régionales. En réalité, la SNBC souffre avant tout d'un problème politique de pilotage : c'est un document technocratique, élaboré par la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC), sans véritable dimension normative.

Désormais dirigée depuis Matignon, la planification écologique devrait conduire à une véritable supervision des politiques dans les secteurs stratégiques (transport, énergie, logement, agriculture) et une coordination des ministères et des institutions publiques concernés par la transition écologique. Ces institutions publiques, dont certaines sont héritées du Plan, devraient jouer un rôle important dans cette planification à réinventer : France Stratégie, qui a remplacé le CGP, le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) (qui sélectionne les appels à projets), les comités stratégiques de filières (CSF) (qui ont pour mission de faire émerger l'industrie de demain, sous l'égide d'un industriel représentatif du secteur), Bpifrance, filiale de la Caisse des dépôts et consignations, etc. Récemment, l'État s'est doté de nouvelles institutions œuvrant pour la transition écologique, telles que le Haut Conseil pour le climat (HCC) et l'Agence de la transition écologique (Ademe). Au total, les organes de financement ainsi que d'expertise et de prospective existent donc bel et bien.

Reste à mettre ces acteurs en cohérence pour conduire le changement. L'une des fonctions de la planification écologique sera de recréer ce cadre global qui fait encore défaut, pour faire travailler ensemble tous ces acteurs publics dispersés qui représentent « la main visible de l'État »³⁰.

La réussite de ce renouveau de la planification en France est loin d'être acquise. Certains facteurs qui avaient conduit à la réussite de la planification d'après-guerre ne sont plus là. En premier lieu, l'abondance et la stabilité des fonds publics dédiés aux grands projets. Le premier plan doit sa réussite au Plan Marshall ; le quatrième plan de 1962-1965, considéré comme l'un des mieux exécutés, s'est réalisé dans un contexte de prospérité exceptionnelle des finances publiques. En second lieu, le jeu d'acteurs qui sous-tendait la réussite de la planification dans l'après-guerre a disparu. Les champions nationaux sous tutelle de l'État ont cédé la place à des entreprises multinationales sous actionnariat international qui s'identifient de moins en moins au territoire. Du côté des acteurs sociaux, le poids des syndicats a fortement diminué. Et la société française est divisée face aux politiques climatiques, comme l'illustre le mouvement des Gilets jaunes.

3.2 La planification, un instrument de coordination des acteurs économiques et sociaux

La transition écologique implique non seulement une reconversion de l'appareil productif et énergétique, mais également une transformation des modes de vie et de consommation. Il en

³⁰ Michel Aglietta et Étienne Espagne, « La planification, une ardente obligation écologique », dans « La planification, une idée d'avenir », *L'Économie politique*, n° 89, 2021, déjà cité.

découle que, dans nos sociétés, la transition écologique ne pourra être mise en œuvre sans que soient associés les acteurs concernés, ménages, entreprises et acteurs publics.

Dans cette perspective, restaurer la coordination des acteurs économiques et sociaux doit être une des fonctions de la planification écologique en ce début de 21^{ème} siècle, comme ce fut le cas dans le cadre de la planification d'après-guerre.

Réinventer la planification territoriale

L'expérience suédoise démontre l'importance d'une décentralisation territoriale de la planification pour atteindre efficacement les objectifs de transition écologique et de décarbonation. La transition écologique nécessite de réinventer la planification territoriale, au-delà des politiques d'aménagement du territoire pilotées par la Datar dans l'après-guerre. Ces politiques ont conduit à une spécialisation territoriale, avec un objectif de compétitivité et de modernisation de l'appareil industriel français.

En France, l'impératif de développement durable a été inscrite dans la politique nationale d'aménagement du territoire et de planification à partir des années 1990³¹. Toutefois, telle qu'elle a fonctionné ces dernières années, celle-ci souffre de limites importantes : la portée normative des injonctions environnementales n'apparaît pas clairement et relève d'une logique de « soft law » pour ménager les élus et les acteurs locaux. En second lieu, les stratégies nationales ne proposent en général pas de déclinaison territoriale pour leur mise en œuvre, comme c'est le cas de la loi de programmation pluriannuelle de l'énergie instituée par la loi sur la transition énergétique de 2015. Enfin, les appels à projets localisés mettent les territoires en concurrence pour accéder à des ressources financières raréfiées ou recyclées. Corriger ces limites apparaît aujourd'hui essentiel pour donner une véritable dimension territoriale à la planification écologique.

L'intérêt des plans d'action sectoriels

Les plans d'action et de conversion sectoriels se sont multipliés récemment dans les secteurs stratégiques. Les plans de transition sectoriels (PTS), pilotés par l'Ademe et bénéficiant de soutiens financiers européens, ont été élaborés pour 9 filières industrielles (acier, aluminium, ciment, verre, ...), en concertation avec les acteurs des secteurs, pour construire des scénarios de décarbonation visant à atteindre les objectifs fixés par la SNBC à l'horizon 2050³². Ces PTS quantifient les impacts sur les coûts de production, évaluent les besoins d'investissement climat et analysent les mutations en emplois. Enfin les PTS proposent les actions publiques et privées pour satisfaire les conditions socio-économiques nécessaires à la décarbonation du secteur.

Des plans de transition sectoriels ont également été amorcés à l'initiative des acteurs de la société civile eux-mêmes, comme en témoigne le rapport « Automobile : comment relever le défi d'une transition juste ? », élaboré par la CFDT métallurgie et la Fondation pour la nature et l'homme en juin 2021³³. Ce plan prévoit une décroissance du secteur avec le maintien de l'emploi, en accord avec ce que prévoient les scénarios macroéconomiques pour les transports : fin de la production de véhicules thermiques d'ici à 2030, décroissance globale du parc automobile (électrique compris) et mesures d'accompagnement. Il propose une stratégie

³¹ Xavier Desjardins et Philippe Estèbe, « Les trois âges de la planification territoriale », *L'Économie politique*, n° 89, 2021, déjà cité.

³² Les Plans de transition sectoriels, <https://finance-climact.fr/actualite/plans-de-transitions-sectoriels/>

³³ Automobile - Comment relever le défi d'une transition juste ? Notre scénario pour l'emploi de la nature, juin 2021. <https://www.fnh.org/wp-content/uploads/2021/06/TT-rapport-automobile-juin-2021.pdf>

de développement territorial et de formation inscrite dans le long terme (2021-2050), ainsi que des choix technologiques (utilisation transitoire de l'hybride jusqu'en 2035) et d'infrastructures (report modal au détriment de la voiture).

Articuler les démarches bottom up et top down

D'autres initiatives cherchent à articuler les démarches locales avec les enjeux nationaux : c'est le cas du projet TIGA « Mobilités intelligentes » dans la Métropole de Rouen, soutenu par le SGI et la Caisse des dépôts, et auquel Renault est associé³⁴. Ce projet lancé en 2019 a pour ambition d'assurer la continuité des déplacements et de réduire l'usage de la voiture individuelle, et de réduire l'impact environnemental de la mobilité. Trois axes ont été privilégiés : (i) le développement du véhicule autonome et des Smart Grids Mobilités ; (ii) la reconquête de l'espace public et la logistique urbaine du futur ; (iii) la mobilité servicielle, avec la création de nouveaux outils et l'utilisation du big data pour proposer de nouveaux services intégrés aux usagers.

3.3 Articuler la planification écologique avec les politiques macroéconomiques

On se limitera ici à deux volets essentiels de la planification écologique : le prix du carbone et la fiscalité écologique, et (2) les investissements de long terme et leur financement.

Le prix du carbone et la fiscalité écologique

L'expérience suédoise suggère que le cadre institutionnel dans lequel est fixé le prix du carbone joue un rôle stratégique pour la transition énergétique, et qu'il est essentiel de programmer à l'avance son évolution à moyen – long terme pour atteindre les objectifs de décarbonisation de l'économie. Initialement, dans le cadre du protocole de Kyoto (signé en 1997), il avait été prévu que le prix du carbone devait être déterminé par des mécanismes de marché. L'Union européenne s'est ainsi dotée en 2005 d'un marché du carbone qui a été un fiasco, car il n'a pas permis de fixer un prix stable et incitatif, de nature à amener les acteurs économiques à réduire leurs émissions de CO₂. Il est apparu clair que cette variable stratégique doit être fixée « hors marché » par les pouvoirs publics. C'est ainsi qu'à l'issue du Grenelle de l'environnement (2008), le gouvernement français a nommé une commission qui a proposé, dans un rapport intitulé « la valeur tutélaire du carbone » (2009), une trajectoire à long terme du prix du carbone allant de 45 euros la tonne de carbone en 2010 à 100 euros en 2030 et 150 à 200 euros en 2050³⁵. Le calcul de cette trajectoire du prix du carbone s'appuie sur « les engagements européens et l'usage raisonné de la modélisation économique ». Un autre rapport, publié en 2015, propose un « corridor » pour le prix du carbone, avec deux prix plancher de 50 euros et plafond de 100 euros la tonne de carbone à l'horizon 2030³⁶. On note que le prix du carbone ainsi calculé est modéré en comparaison du prix pratiqué en Suède, égal à 120 euros en 2018, comme indiqué plus haut.

³⁴ Renault : un nouveau partenariat pour les ZE du côté de Rouen, <https://blogautomobile.fr/renault-un-nouveau-partenariat-vehicules-ze-cote-de-rouen-106804>

³⁵ « La valeur tutélaire du carbone », Rapport de la commission présidée par Alain Quinet, Documentation Française, 2009.

³⁶ Pascal Canfin, Alain Grandjean, Gérard Mestrallet (2016), « Propositions pour des prix du carbone alignés avec l'accord de Paris », Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer.

Il revient en principe à la planification écologique d'assurer la cohérence entre l'évolution programmée du prix du carbone et les politiques macroéconomiques, notamment fiscales et réglementaires, destinées à modifier les comportements des acteurs économiques vers une plus grande efficacité énergétique et le recours à des énergies non carbonées. Ces mesures doivent faire l'objet d'une concertation publique et d'un débat démocratique préalables, avec l'objectif d'en assurer l'acceptation. La hausse inévitable de la fiscalité écologique doit être accompagnée de mesures de compensation destinées à répartir équitablement le fardeau de l'ajustement en fonction de critères de justice sociale. Ainsi, une « planification en valeur », intégrant la question des revenus directs et indirects, apparaît être une composante nécessaire de la planification.

De ce point de vue, la comparaison des expériences suédoise et française récentes est riche d'enseignements. La politique écologique menée en Suède peut être considérée comme une réussite pour les raisons indiquées plus haut. À l'inverse, en France, les pouvoirs publics ont été amenés à renoncer aux mesures concernant la fiscalité écologique à deux reprises, à la suite des révoltes des « bonnets rouges » en 2013 et des « gilets jaunes » en 2019, faute de concertation préalable et de la mise en œuvre de mesures d'accompagnement destinées à prendre en compte les effets régressifs de ces mesures sur les ménages et les petites entreprises.

Les investissements de long terme et leur financement

La transition vers une économie non carbonée requiert des investissements massifs. La programmation des investissements prioritaires doit être un des volets de la planification écologique, comme ce fut le cas dans le cadre des plans qui se sont succédé en France à partir de 1946. Ce travail de programmation est réalisé actuellement par I4CE – l'institut de l'économie, créé à l'initiative de la Caisse des dépôts et consignations et l'Agence française du développement, deux investisseurs publics de long terme.

Selon I4CE, les investissements « climat » - pour l'efficacité énergétique, les infrastructures, les énergies renouvelables et le nucléaire - s'élevaient en 2021 à 84 milliards d'euros³⁷. D'après ce bureau d'étude, pour engager la France sur la voie de la neutralité carbone, il faudrait réaliser entre 14 et 30 milliards d'euros d'investissements (publics et privés) supplémentaires par an, selon les scénarios « Transition(s) 250 » de l'Ademe. Des montants minima qui ne couvrent pas les besoins dans l'agriculture, l'industrie ou encore l'adaptation au changement climatique.

Par ailleurs, l'une des fonctions de la planification écologique doit être d'assurer la cohérence entre la hausse programmée des investissements pour la transition, d'une part, et les modalités de financements privés et publics permettant d'atteindre les objectifs, d'autre part. Ce qui pose la question du système monétaire et financier, et de son adaptation.

Les travaux existants convergent pour montrer l'existence d'un déficit structurel des investissements de long terme sur les marchés financiers (Plihon et Rigot, 2018)³⁸. Modifier le cadre réglementaire, comptable et prudentiel, des banques et des investisseurs institutionnels pour les amener à allonger l'horizon de leurs financements est une première piste. Développer

³⁷ I4CE, « Panorama des investissements climat – Edition 2022 », <https://www.i4ce.org/publication/edition-2022-panorama-financements-climat/>

³⁸ Dominique Plihon et Sandra Rigot (2018), « Pourquoi manque-t-on d'investisseurs à long terme ? », *Revue d'économie financière* 2018/2, N° 130, p. 113-128.

de nouvelles formes d'intermédiation financière est également nécessaire³⁹. Des institutions financières de long terme existent déjà à l'étranger (BNDS au Brésil, KfW en Allemagne), à l'échelle européenne (BEI) et en France : Caisse des dépôts, avec sa filiale BPI, et AFD. Des propositions ont été faites dans ce sens, telles que la création de « banques du climat ». Mais les financements de ces acteurs publics ne sont pas à la hauteur des besoins.

Les politiques macroéconomiques – budgétaire, fiscale et monétaire – doivent être mises en cohérence avec les objectifs de la transition écologique et sociale, et de son financement. S'agissant du budget et de la fiscalité, le principe à appliquer pourrait être de « sanctuariser » les ressources et les dépenses publiques consacrées à la transition, ce qui conduirait aux trois règles suivantes : (1) suppression de toutes les aides aux énergies fossiles et redéploiement de celles-ci vers les énergies renouvelables, (2) affectation de la totalité des recettes des taxes écologiques au budget de la transition, et (3) exclusion des investissements publics de transition du calcul du déficit public.

La politique monétaire peut également constituer un levier important de la transition écologique, en coordination avec la politique budgétaire et fiscale (Jeffers et Plihon, 2023)⁴⁰. On a vu plus haut que le contrôle du crédit a été un complément essentiel du plan dans la France d'après-guerre, en permettant de canaliser, d'une manière sélective, les financements vers les objectifs prioritaires de la politique économique. Depuis les années 1970, la politique monétaire s'est centrée sur les objectifs de stabilité monétaire et financière, au détriment des objectifs de financement de l'économie. Le financement de la transition doit être l'occasion de réhabiliter cette dernière dimension de la politique monétaire, dans ses deux dimensions actuelles, traditionnelle et « non conventionnelle ». Le rôle traditionnel de la banque centrale consiste à assurer le refinancement des banques privées et publiques. Ce canal du refinancement pourrait être utilisé pour introduire de la sélectivité en faveur des financements bancaires dans les secteurs prioritaires, comme ce fut le cas dans le passé. Quant à la politique « non conventionnelle » mise en œuvre par la BCE à la suite de la crise financière de 2007-2008, qui prend notamment la forme de financements à long terme et d'achats de titres sur les marchés financiers, elle pourrait consister à orienter, d'une manière sélective, la création monétaire de la banque centrale en faveur des secteurs bas carbone : c'est le « green qualitative easing ». Ce qui serait un changement par rapport au « quantitative easing » mené jusqu'ici par la BCE. La BCE vient d'opérer un virage, en indiquant en juillet 2022 qu'elle allait introduire la prise en compte des questions écologiques dans la mise en œuvre de la politique monétaire. L'une des questions à traiter pour articuler la politique monétaire et la planification écologique serait de rendre cohérent les taux d'intérêt à long terme, dont le niveau est lié à la politique monétaire, avec le taux d'actualisation défini dans le cadre du plan (variable qui a joué un rôle stratégique dans le passé).

3.4 Démocratiser la planification écologique

Plusieurs réponses peuvent être données aux enjeux démocratiques de la transition écologique mentionnés plus haut. Une première approche pourrait être de créer des commissions pour chacune des grandes questions soulevées par la transition (énergie, mobilités, logement, fiscalité écologique, ...). Ces commissions seraient composées des parties prenantes concernées (entreprises, salariés, usagers, ...) et seraient chargées d'apporter des propositions, concernant notamment les investissements de long terme à

³⁹ Dominique Plihon et Sandra Rigot (2022), « Les intermédiaires financiers publics face au changement climatique », *Revue Economique*, vol. 73.

⁴⁰ Esther Jeffers et Dominique Plihon (2023), « Quel policy mix vert pour la transition écologique », en cours de publication à la *Revue Française d'Economie*

mettre en oeuvre. Leur fonctionnement pourrait s'inspirer des Commissions de modernisation qui ont existé dans le cadre de la planification française des années 1946 – 1990. Les Comités stratégiques de filières mentionnés plus haut, qui ont succédé aux Commissions de modernisation, pourraient être amenés à jouer ce rôle.

La Convention citoyenne pour le climat, mise en place dans le contexte du mouvement des Gilets jaunes, en 2019, et composée d'un panel représentatif de 150 personnes, a constitué une expérience intéressante de délibération citoyenne. Celle-ci a malheureusement tourné court, dans la mesure où la plupart de ses propositions, dont beaucoup étaient pertinentes, n'ont pas eu de suites.

Une solution plus ambitieuse pour démocratiser la planification est d'inscrire celle-ci dans un cadre institutionnel innovant permettant d'articuler les délibérations parlementaires et la démocratie participative. Il s'agirait de prendre appui sur le projet de réforme constitutionnelle annoncée par Emmanuel Macron le 3 juillet 2017, et qui prévoit de créer une « chambre du futur » en remplacement du Conseil économique, social et environnemental (CESE). Cette idée a été reprise et développée par un collectif d'intellectuels coordonné par le philosophe Dominique Bourg au sein de la Fondation Nicolas Hulot (FNH). Ce collectif a proposé la création d'une « Assemblée citoyenne du futur », troisième chambre parlementaire, à côté de l'Assemblée Nationale et du Sénat⁴¹. Selon ses promoteurs, la création de cette nouvelle Assemblée est une « réponse institutionnelle à l'entrée en politique de la nature, et en conséquence, du temps long ». Composée de citoyens et adossée à un conseil scientifique, l'Assemblée citoyenne du futur aurait pour mission est d'être « un point d'ancrage institutionnel des initiatives citoyennes pour la transition écologique ». Elle exercerait une fonction d'alerte et pourrait s'autosaisir des grands projets de long terme, ce qui lui donnerait tout naturellement un rôle dans l'élaboration et le contrôle de l'exécution des objectifs de la planification écologique.

Pour conclure

Les défis posés par la transition écologique et sociale conduisent à réhabiliter les politiques publiques et la planification, après plusieurs décennies « néolibérales » marquées par la volonté d'en réduire l'importance dans la régulation économique. L'incertitude liée aux effets de la transition – qualifiée récemment de « cygne vert »⁴² –, d'une part, et l'impératif d'une concertation sur les politiques écologiques illustré par le mouvement des Gilets jaunes, d'autre part, plaident pour la mise en place d'une planification écologique démocratique fondée sur la concertation. Cette planification devra être élaborée aux différentes échelles territoriales – locale, nationale et européenne.

La présidente de la Commission européenne, Ursula van der Leyen, a présenté en 2022 le « Green Deal », affiché comme un objectif prioritaire pour l'Union européenne et a annoncé un programme d'investissements « verts » de 1 000 milliards d'euros pour la prochaine décennie. Le « Green Deal » peut être considéré comme l'amorce d'une planification écologique européenne, à laquelle la planification française devra être articulée ...

⁴¹ Dominique Bourg (2017), « Inventer la démocratie au XXI^e siècle –L'Assemblée citoyenne du futur », Les Liens qui Libèrent.

⁴² Banque des règlements internationaux (2020), « The green swan - Central banking and financial stability in the age of climate change », janvier.

Annexe 5 : Quel rôle pour la modélisation des innovations de rupture ?

Yann Chazal (Groupe RENAULT), et Jean-Pierre Ponssard (Ecole Polytechnique, Chaire Energie et Prospérité)

Les modélisations quantitatives traditionnelles rencontrent deux limites

Les modèles sont couramment définis comme « une approximation de la réalité ». Dans le cas des systèmes socio-éco-techniques, on fait appel à eux pour reproduire et étudier par le calcul un comportement qu'on ne parvient pas à intuitier, essentiellement à cause de liens d'influences trop nombreux, non linéaires et entrelacés. En fixant suffisamment d'hypothèses et de paramètres, de tels modèles parviennent à un résultat, qui reste cependant souvent *difficile à retracer et expliquer, et toujours sensible au paramétrage et donc aux incertitudes.*

Ce type de modélisations quantitatives est utilisé pour simuler et calculer la réaction d'un système à une perturbation de son fonctionnement, notamment lorsqu'il s'appuie sur une approche économétrique. On peut ainsi par exemple tester l'impact d'une incitation, d'une taxe, d'une évolution de l'offre... La pertinence se limite cependant à des évolutions incrémentales dans lesquelles le système ne change pas radicalement (sinon ce serait un autre système à simuler). Or nous savons que les trajectoires d'innovations de ruptures, et plus largement l'évolution générale de ce type de systèmes hors équilibre, ne sont pas seulement faites de phases d'évolution continue, mais aussi d'émergences et de recompositions structurelles après des crises.

Un autre type de démarche basée sur la modélisation système de systèmes et une conception interactive de la rationalité

L'ambition de la démarche n'est pas ici de simuler le comportement du système et sa réaction à des changements continus, mais de concevoir les transformations structurelles de son fonctionnement et de son organisation, susceptibles modifier la trajectoire de son évolution. Le résultat doit permettre à un ensemble d'acteurs de se projeter dans des changements qu'ils auraient ensuite la charge de le mettre en œuvre.

Pour y parvenir, une intelligence collective, reposant en pratique sur un petit groupe, doit être mobilisée. Son rôle est de s'appropriier dans un premier temps les connaissances suffisantes pour éclairer la situation héritée du périmètre étudié, et ce qui l'entraîne dans des dynamiques non souhaitées, de plus en plus souvent non soutenables selon des aspects environnementaux, économiques et sociaux. Fort de cette compréhension initiale, le groupe constitué va ensuite conduire une réflexion progressive et itérative pour définir les conditions à satisfaire pour une transformation.

Cette réflexion doit s'attacher à l'objectif de redirection globale, mais doit également s'attacher à traiter les principales barrières capables de bloquer les changements. Celles-ci peuvent être d'origines physiques, sociales, techniques, financières ou stratégiques au niveau d'acteurs clés.

Des formes originales de modélisation accompagnent ce type de démarche. **Un modèle de conception**, permet au groupe de raisonner ensemble, d'assurer la traçabilité de son cheminement entre la proposition formulée et les connaissances initiales, et de pouvoir expliquer et justifier sa cohérence d'ensemble. La difficulté de l'exercice tient au nombre d'interactions étudiées et l'hétérogénéité des types de connaissances manipulées. Le savoir-faire pour définir en amont la structure du modèle (le méta-modèle) et la méthodologie pour conduire et animer le raisonnement sont issus d'une communauté de l'Ingénierie Systèmes, spécialisée dans l'étude de tels « Systèmes de Systèmes », se distinguant des applications plus courantes pour le développement de produits ou de services⁴³. Ce type de modèle de conception est essentiellement descriptif et qualitatif. Il n'est pas exécutable numériquement, mais il contient l'ensemble des connaissances et raisonnements mis en œuvre dans l'étude de transformation. Il devient donc le support pour permettre aux acteurs de comprendre et étudier à leur niveau l'action qu'ils sont invités à entreprendre, les nouvelles coopérations qu'ils ont invités à nouer, et le cadre global garant de la redirection visée.

Un modèle opérationnel complète le modèle de conception pour apporter des chiffres clés sur le scénario et la logique d'action retenue afin d'en explorer toutes les conséquences pour les parties prenantes. Il est élaboré par un expert qui introduit un certain nombre d'hypothèses complémentaires, et qui rend compte des résultats auprès des parties prenantes. Le modèle opérationnel s'attache plus particulièrement à l'identification et à la quantification d'ordres de grandeurs critiques pour la réalisation du scénario, sans prétendre toutefois à une simulation complète et prédictive du scénario.

Cette distinction permet une économie de moyens au niveau de la démarche de modélisation. Seuls importent les « rendez-vous » qui permettent aux parties prenantes de s'assurer que le scénario retenu reste cohérent. Toutes les actions à mener en parallèle par chaque partie prenante, compte tenu de la logique d'action retenue, peuvent être négligées.

Cette méthodologie de modélisation vient en support d'une **démarche coopérative entre les acteurs**, faite d'engagements sur les interfaces à respecter lors des rendez-vous et de zones d'opportunités laissées ouvertes dès lors que les engagements sont respectés. Dans ce cas, le modèle est là pour apporter à tous la justification des nouvelles interfaces à respecter dans le respect d'une finalité commune. Il ne s'agit pas de calculer comment tout doit fonctionner, comme dans une pratique plus traditionnelle de modélisation. Celle-ci dérive en effet souvent soit vers une quête jamais satisfaite de plus de « réalisme » du modèle, soit à son rejet pur et simple par des acteurs cherchant à se libérer du comportement spécifié.

Il faut insister sur le fait que cette méthode suppose qu'on a bien identifié les parties prenantes concernées. A défaut, la pertinence de la démarche serait remise en cause. En principe, chaque acteur développe grâce à cette démarche des anticipations cohérentes sur le processus d'ensemble auquel il contribue. C'est dans ce sens qu'on peut rapprocher cette démarche de la planification de la notion de rationalité interactive⁴⁴.

Un sous-produit important de ce type de modélisation porte sur l'identification de clignotants destinés, le cas échéant, à invalider la logique d'action retenue. En effet, ou bien le décalage

⁴³ Pour une présentation plus complète voir par exemple l'intervention de Yann Chazal au séminaire « Soutenabilités » : la modélisation peut-elle nous prémunir de l'insoutenable ? France Stratégie, mai 2020

⁴⁴ Jean-Pierre Ponsard, 2004, Formalisation des connaissances, apprentissage organisationnel et rationalité interactive, chapitre 7, pp 169-191, in Analyse économique des conventions, A. Orléan (ed.), PUF.

avec la réalité sera trop fort, et on sera obligé de revenir au point de départ, ou bien on refusera d'interpréter des clignotants allumés au rouge comme des remises en cause radicales et la solidarité entre acteurs disparaîtra pour faire place à des stratégies individuelles.

Une démarche s'inspirant de cette méthodologie a été déployée pour le projet Rouen-TIGA.

Elle est appliquée ici dans la perspective de redirection plus soutenable de la mobilité pour ce type de territoires. Cette méthodologie permet de justifier par construction quelle évolution originale dans les échanges de voitures et services entre acteurs économiques et sous le contrôle d'autorités publiques, serait de nature à contribuer à la redirection souhaitée.

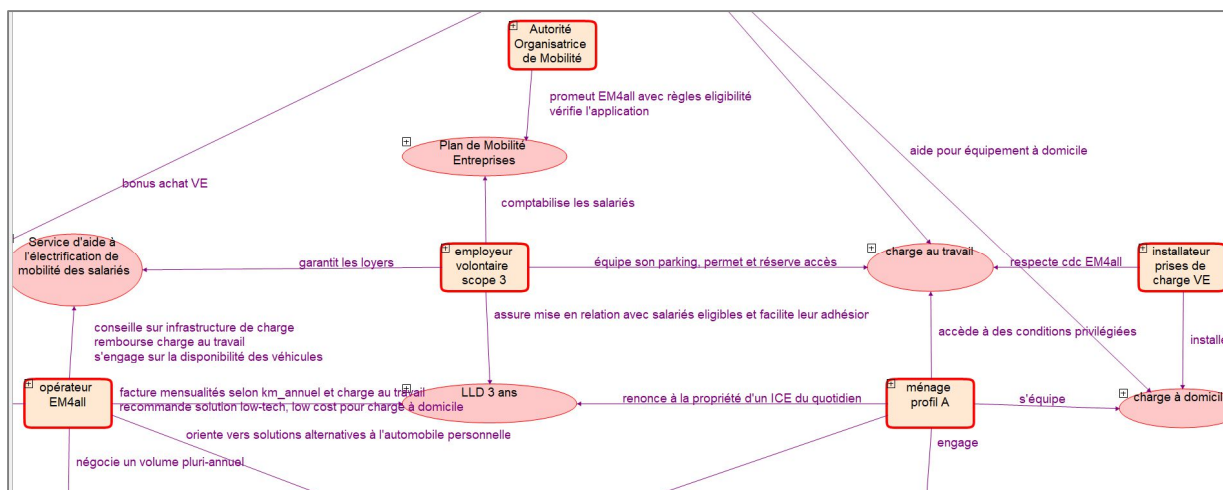
Pour le modèle de conception, l'application de cette méthodologie s'est ici appuyée sur un logiciel apporté par la société Knowledge Inside, qui fournit l'environnement de modélisation capable de gérer rigoureusement et graphiquement les connaissances réunies et les interactions établies entre les points de vue sociaux, économiques et techniques. M. Portalier (société Eco-Emergence) spécialisé dans les transformations écologiques, a été sollicité pour animer la réflexion collective d'un groupe constitué par la Direction de la Recherche du Groupe Renault pour mettre en œuvre cette méthodologie.

Le modèle opérationnel a été mis en place avec Me Bousquet (PhD Cifre, laboratoire EPEE de l'université d'Evry) dans le cadre du partenariat avec La Chaire Energie et Prospérité.

Le livrable ainsi construit, a aujourd'hui pour intérêt particulier de permettre aux acteurs concernés de partager une compréhension commune de la transformation d'ensemble proposée et du rôle nouveau qu'ils auraient à y jouer. Il apporte des justifications à tous sur la cohérence de la solution, pour faciliter l'engagement dans une mise en œuvre concrète.

Quelques résultats

Une des vues du **modèle de conception** développé dans cette étude, permet de représenter les acteurs économiques et publiques concernés par la transformation proposée. Dans cet extrait, on voit par exemple certaines nouvelles relations qu'ils sont invités à nouer entre eux, ou la contribution originale qui leur est proposée dans le cadre de relations existantes.



Extrait d'une vue du modèle Arkitect pour le projet de la Direction de la Recherche du Groupe Renault avec la Métropole Rouen Normandie

On visualise dans cet extrait le rôle attendu d'un employeur (au centre) dans la mise en œuvre du service. Dans cet exemple, l'employeur ne souscrit pas lui-même la location des véhicules. Il assure la promotion de cette offre auprès de certains salariés, facilite la recharge sur le lieu de travail, et se porte garant auprès de l'opérateur de location. Ces efforts sont à mettre en regard des avantages qu'il peut tirer du dispositif, pour la fidélisation de son personnel, la décarbonation du scope 3 de ses émissions et le bénéfice d'image.

Le reste du modèle de conception, contient l'ensemble des connaissances initiales et de l'argumentation logique qui permettent de justifier pourquoi cette proposition d'action serait bien de nature à concilier l'intérêt stratégique des acteurs essentiels, en entraînant le système de mobilité du territoire dans une direction socialement et environnementalement plus soutenable. Cette représentation se décline également du point de vue des systèmes techniques impliqués, pour éclairer des besoins particuliers de développements à coordonner entre certains acteurs.

Pour construire le **modèle opérationnel**, un modèle théorique simple a été mis en oeuvre pour calculer un équilibre de marché entre des offres de location sur la durée de vie et plusieurs types de consommateurs. Ce modèle, paramétré à l'aide de données du territoire a ensuite permis de projeter une évolution des volumes sur une période donnée.

Le point de départ est ce que les ménages dépensent aujourd'hui pour leur véhicule thermique à remplacer, avant de projeter ce qu'ils pourraient consacrer au nouveau dispositif. Les principaux postes des dépenses de référence concernent le type de véhicule possédé et l'âge de son acquisition, ainsi que tous les autres postes du coût total d'utilisation souvent étroitement liés au kilométrage annuel. Si on prend par exemple le cas d'un véhicule couramment utilisé au quotidien par un ménage de la classe moyenne, on reconstitue ainsi l'ensemble de ses dépenses pour une voiture diesel souvent achetée d'occasion au moins 4 ans après sa première mise en circulation, et parcourant 13000 km/an.

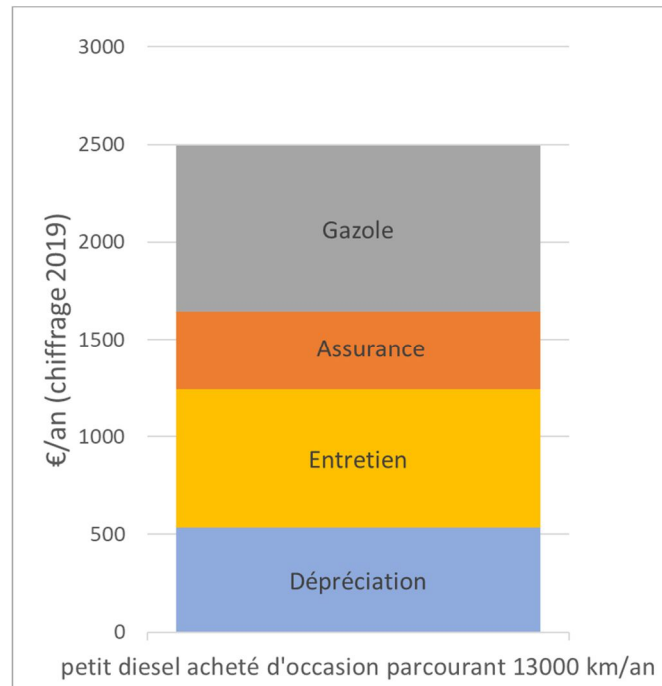


Figure 1 : Dépenses moyennes par poste pour un petit diesel d'occasion

Face aux nombreuses combinaisons possibles, un choix a été fait pour une association des prix et des volumes annuels, qui permettrait de rendre le dispositif le moins dépendant sur la durée vis-à-vis du soutien des finances publiques. C'est ce parti-pris qui a conduit à la construction des chiffres clés suivants.

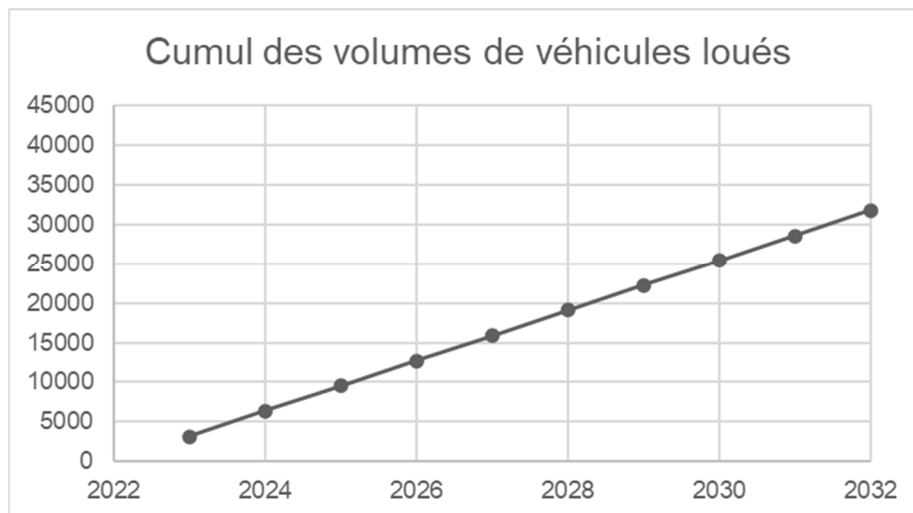


Figure 2: Cumul des volumes de location 2023-2032

Comme énoncé plus haut, le modèle théorique calibré sur les données du territoire de Rouen-Normandie nous permet d'obtenir les volumes de véhicules loués pour une année donnée. En supposant cette demande constante sur la période 2023-2032, le cumul des volumes sur cette même période est représenté Figure 2. Avec un flux annuel de plus de 3000 véhicules, l'offre

permettrait ainsi (au maximum) le remplacement d'un véhicule thermique par un véhicule électrique pour 33000 ménages sur le territoire d'ici à 2032.

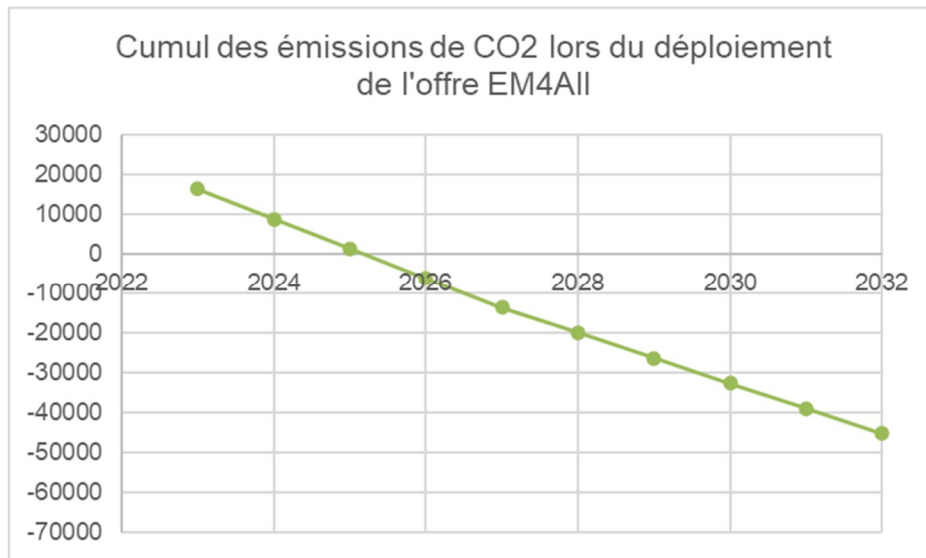


Figure 3 : Cumul du différentiel des émissions de CO2 dans le cas où les véhicules de l'offre remplacent un petit véhicule diesel de plus de 4 ans parcourant en moyenne 13k km par an. L'analyse est faite du puits à la roue.

La Figure 3 présente le cumul de la différence des émissions de CO₂ sur la même période 2023-2032 entre la situation actuelle et le scénario de déploiement de l'offre EM4All. La production de véhicules électriques émet plus de CO₂ que celle de véhicules thermiques équivalents mais ce différentiel s'inverse au bout de quelques dizaines de milliers de kilomètres parcourus. De ce fait, le différentiel d'émission est positif sur les premières années du fait de la production de véhicules neufs. Puis, même si cette production continue annuellement sur la période 2023-2032, le remplacement des kilomètres thermiques par des kilomètres électriques permet un différentiel d'émission cumulé négatif à partir de 2025.

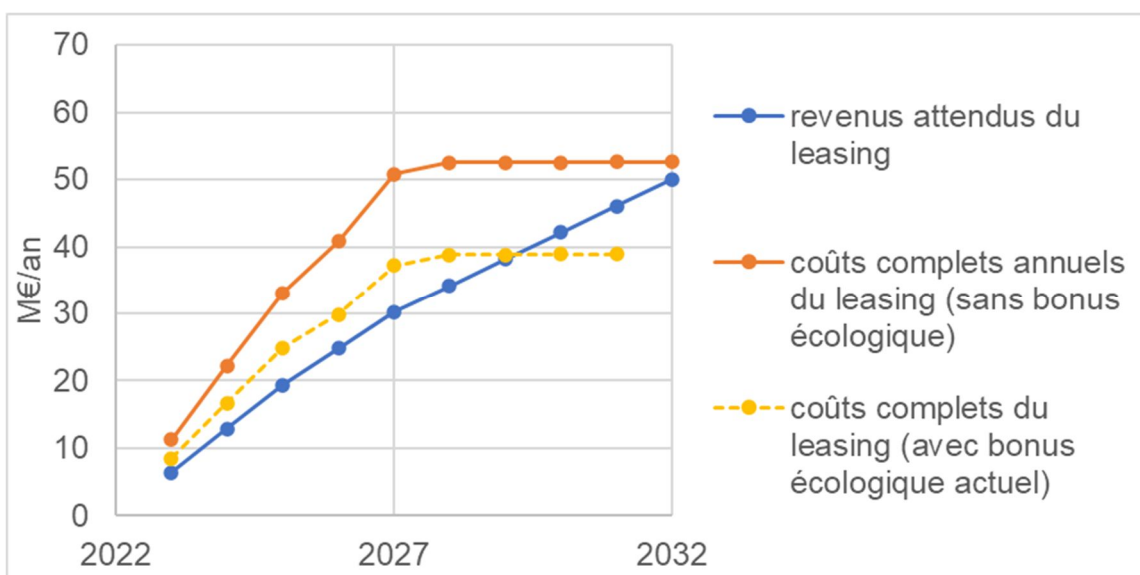


Figure 4 : coûts et revenus pour la coopérative portant le projet sur la période 2023-2032

La Figure 4 présente les coûts et revenus pour l'opérateur de mobilité. Concernant les revenus, on observe une augmentation avec la croissance de la flotte de véhicules électriques du dispositif. Au bout de 3 ans, la courbe s'infléchit car les revenus issus du leasing d'occasion sont plus faibles que ceux du neuf et font donc baisser la moyenne. Concernant les coûts, la courbe jaune présente les coûts complets annuels du leasing si les aides actuelles sont prolongées jusqu'en 2032 (4000€ par véhicule pour une entreprise). La courbe orange ne prend pas en compte ces subventions. Les coûts comprennent notamment le remboursement du crédit permettant l'acquisition de la flotte de véhicule et les frais d'opération du dispositif (entretien, rétrofit, salaires, etc.). Ces coûts se stabilisent après 2027.

Le modèle de conception et le modèle opérationnel sont aujourd'hui disponibles en soutien des décisions à prendre pour avancer vers l'expérimentation et le lancement du dispositif. Nul doute que ces nouvelles étapes conduiront à des changements issus d'une nécessaire adaptation, pour faciliter l'adoption ou s'adapter au contexte. Ces modèles resteront disponibles pour être mis à jour, et continuer ainsi à assurer la cohérence globale de l'initiative, et apporter la visibilité critique sur la trajectoire suivie.

Annexe 6 : Du bon usage du coût d'abattement dans le contexte de la neutralité carbone en 2050

Guy Meunier (INRAE, Chaire Energie et Prospérité) et Jean-Pierre Ponsard (Ecole Polytechnique, Chaire Energie et Prospérité)

Le coût d'abattement est une métrique pour l'évaluation des investissements pour la transition énergétique qui joue un rôle similaire au taux de rentabilité interne dans l'évaluation des choix d'investissements publics et privés. Schématiquement il s'agit de comparer ce coût à la valeur tutélaire du carbone (comme le taux de rentabilité interne est comparé au coût du capital). Bien entendu, en termes d'investissements publics comme en termes d'investissements privés, d'autres critères peuvent rentrer en jeu, il n'en reste pas moins que le choix d'une bonne métrique constitue un élément central d'aide à la décision.

Une note récente de France Stratégie a fait une synthèse sur la méthodologie relative au coût d'abattement ⁴⁵. L'objet de cette annexe est d'apporter quelques compléments dans le contexte de la neutralité carbone en 2050 (NZE). ⁴⁶

Un préalable : la reformulation de l'analyse coût bénéfice dans le contexte de la NZE

Nous allons montrer que le fait de se situer dans le contexte de la NZE conduit reformuler l'analyse coût bénéfice traditionnelle. Considérons une activité polluante et un projet de décarbonation. L'analyse traditionnelle consiste à comparer d'un côté les bénéfices environnementaux avec le surcoût associé à la mise en place de la nouvelle technologie. Elle se fait habituellement sur la durée de vie du projet, noté T . On note A_t l'abattement annuel et C_t le coût incrémental annuel par rapport au BAU à la date t . On note i le taux d'actualisation et P_t la valeur sociale du carbone à la date t . La valeur actualisée du projet s'écrit :

$$VAN = \int_0^T e^{-it} P_t a_t dt - \int_0^T e^{-it} C_t dt$$

Ou encore, en introduisant le niveau E des émissions du BAU

$$VAN = \int_0^T e^{-it} P_t E dt - [\int_0^T e^{-it} P_t (E - a_t) dt + \int_0^T e^{-it} C_t dt]$$

Le terme entre crochets correspond au coût social des émissions additionné du coût financier incrémental par rapport au BAU, ces coûts étant actualisés sur la durée de vie du projet T .

Dénotons ce coût Γ :

⁴⁵ Les coûts d'abattement Partie 1 – Méthodologie (2021). Rapport de la Commission présidée par Patrick Criqui, France Stratégie. Voir aussi Baker, E. D. and Khatami, S. N. (2019). The levelized cost of carbon: a practical, if imperfect, method to compare CO₂ abatement projects, *Climate Policy* 19(9): 1132{1143.

⁴⁶ Pour une présentation complète voir Meunier, G, and Ponsard, J.-P. (2023), Extending the limits of the abatement cost, WP disponible sur le site de la chaire Energie et Prospérité.

$$\Gamma = \int_0^T e^{-it} P_t (E - a_t) dt + \int_0^T e^{-it} C_t dt \quad (1)$$

Pour comparer deux projets ayant la même durée de vie il suffit de comparer les valeurs correspondantes de Γ sans passer par le calcul des VAN.

Si on se donne maintenant comme objectif de choisir le meilleur projet de décarbonation NZE à l'horizon 2050, il faut s'assurer (i) que pour chaque projet l'abattement en 2050 est bien égal à E , et qu'il conserve cette valeur pour toute date ultérieure, et par ailleurs, (ii) faire tendre l'horizon vers l'infini puisque la décarbonation doit être permanente. La comparaison des valeurs de Γ reste non seulement pertinente, mais c'est la bonne manière de procéder. On ne peut plus faire la comparaison des projets à travers le calcul des VAN en effet, le premier terme, $\int_0^T e^{-it} P_t E dt$, devient infini dès lors le prix du carbone croît à un taux supérieur ou égal au taux d'actualisation, ce qui constitue l'hypothèse habituelle.

Cette reformation de l'analyse coût bénéfice non seulement permet de mener à bien une analyse économique des projets mais, en élargissant l'horizon traditionnel du projet, elle facilite la prise en compte d'éléments critiques souvent soulignés dans les études empiriques⁴⁷ tels que les effets d'apprentissage et de spillovers. Ce sera naturellement le cas lorsque le projet initial porte par exemple sur une unité de production (*i.e.* un véhicule), alors que la question à étudier est celle de la décarbonation de l'ensemble d'un secteur (*i.e.* une flotte de véhicules). Elargir l'horizon revient à poser le problème de la transition énergétique de manière cohérente.

Le coût d'abattement dynamique : la bonne métrique pour cette reformulation de l'analyse coût bénéfice

Considérons la substitution d'une activité polluante par une activité décarbonée suite à la mise en place d'une nouvelle technologie. On peut penser à la substitution d'une flotte de bus diesel par des bus électriques dans une agglomération donnée. Cette activité comporte une quantité Q d'unités et émet E tCO₂ par unité de temps. La poursuite de l'activité dans les conditions actuelles (BAU) implique un coût moyen c_0 que nous supposons constant pour simplifier. Il existe k technologies décarbonées. La question est de savoir laquelle mettre en place.

Chaque technologie non polluante k est caractérisée par (pour simplifier l'écriture on n'introduit pas l'indice k) :

- La date de lancement s ,
- La phase de déploiement allant de s à T au cours de laquelle la production décarbonée q_t remplace progressivement la production carbonée Q ;
- L'abattement a_t par unité de temps et par unité décarbonée produite, soit pour l'abattement total $A_t = a_t q_t$, par hypothèse $A_t = E$ pour tout $t > T$;
- Le coût financier d'opportunité de la substitution C_t à la date t .

⁴⁷ Voir par exemple Goulder, L. H. and Mathai, K. (2000). Optimal CO₂ abatement in the presence of induced technological change, *Journal of Environmental Economics and Management* 39(1): 1{38}. Gillingham, K. and Stock, J. H. (2018). The cost of reducing greenhouse gas emissions, *Journal of Economic Perspectives* 32(4): 53{72}. Grubb, M., Hourcade, J-C., and Neuhoff, K. (2014): *Planetary Economics: energy, climate change and the three domains of sustainable development*. Routledge.

On raisonne en temps continu avec t variant de zéro à l'infini. On note i le taux d'actualisation et P_t la valeur tutélaire du carbone à l'instant t . On fait l'hypothèse qu'on peut appliquer la règle d'Hotelling, par suite $P_t = P_0 e^{it}$. On peut écrire pour le coût des émissions :

$$\int_0^T e^{-it} P_t (E - a_t) dt = P_0 TE - P_0 \int_0^T a_t dt = P_0 TE - P_0 A$$

Où A représente la somme non actualisée des abattements associés à la technologie décarbonée mise en place jusqu'à la date T .

Le coût financier de la technologie k par rapport au BAU, est tout simplement :

$$\int_0^\infty e^{-it} C_t dt = e^{-is} \int_s^\infty e^{-i(t-s)} C_t dt = e^{-is} I$$

Où I est défini comme le coût actualisé à partir de la date de lancement (les coûts sont nuls avant s).

Dans ces conditions la relation (1) devient :

$$\Gamma = P_0 TE - P_0 A + e^{-is} I \quad (2)$$

Faisons l'hypothèse simplificatrice que pour chaque technologie k on peut choisir librement la date de lancement s , et, qu'en outre, I et A_t ne dépendent pas de la date retenue pour s . Par exemple, on peut considérer différentes dates de lancement pour commencer la substitution des bus diesels par les bus électriques, et le coût d'un bus électrique ne dépend pas de la date de lancement mais peut dépendre du laps de temps écoulé entre la date de lancement et sa mise en opération, compte tenu d'un effet d'apprentissage. Cela suppose qu'il n'y a pas de progrès technique exogène. Il en est de même pour les abattements.

Cette hypothèse simplificatrice permet de poser la question du choix de la meilleure technologie comme un processus en deux étapes :

- Rechercher la date optimale de lancement de chaque technologie k

Cette recherche passe par la comparaison du « coût d'abattement dynamique », noté DAC, avec la valeur tutélaire du carbone. C'est le *coût marginal d'abattement par rapport à la date de lancement*. A partir de la relation (2), on peut facilement montrer que le $DAC = i I / E$. En effet, décaler d'une unité de temps le lancement, d'une part, augmente le coût actualisé de $i I$; par ailleurs les émissions augmenteront de E , ce qui est équivalent à faire un *calcul coût bénéfice marginal de VAN*. Autrement dit on a la relation suivante pour chaque date optimale s :

$$P_0 E = e^{-is} i I \quad (3)$$

- Comparer les technologies optimisées en fonction de leur date de lancement en retenant celle qui minimise la valeur des émissions jusqu'à cette date. En effet, en tenant compte de la relation (3), la relation (2) s'écrit :

$$\Gamma = P_0 TE - P_0 A + P_0 E / i \quad (4)$$

Le dernier terme est indépendant de la technologie considérée ; pour comparer les valeurs de Γ pour deux technologies, il suffit donc de comparer la somme sur les deux premiers, c'est-à-dire la somme des émissions jusqu'à la date de complète de décarbonation de la technologie considérée.

Lorsque que l'hypothèse simplificatrice n'est pas vérifiée, par exemple en présence d'un progrès technologique exogène, cette méthodologie en deux étapes reste valide mais doit être réaménagée et la notion de coût d'abattement dynamique reste pertinente.

Noter aussi que nous raisonnons « toutes choses égales par ailleurs » vis-à-vis de la demande. Il s'agit de satisfaire une demande supposée inélastique au moindre coût, sans s'intéresser aux effets de substitution éventuels vis-à-vis d'autres produits. Pour intégrer ces effets, il conviendrait de considérer par exemple le surplus global dans un équilibre partiel, ou encore le bien-être dans un équilibre général.

Trois illustrations⁴⁸

De l'intérêt de la nouvelle métrique par rapport aux métriques classiques du coût d'abattement

Considérons un projet caractérisé par les paramètres du tableau 1⁴⁹. Il s'agit de décarboner une unité polluante dont la production annuelle est de 100. Nous raisonnons en temps discret. La durée de vie de l'unité décarbonée mise en place est de 5 ans. Son coût fixe (capex) est de 100. La montée en puissance (supposée linéaire) de la production décarbonée se fait en 4 ans. Les coûts variables sont respectivement de 0.10 et 0.12 pour les productions carbonées et décarbonées. L'intensité carbone de la production carbonée est 0.005.

Hypothèses

taux d'actualisation	i	3%
SCC valeur sociale du carbone (augmente au rythme du taux d'actualisation)	P°	40
production BAU (tonnes)	Q	100
CO2 emissions à la tonne	k	0,005
émissions BAU	kQ	0,5
coût variable de la production carbonée	c°	0,1
coût variable de la production décarbonée	c	0,12
coût fixe de l'usine décarbonée	F	100
montée en puissance de la production décarbonée	T	4
durée de vie des unités de production décarbonée	d	5
date de lancement de l'unité décarbonée	s	3

⁴⁸ Les versions excel des exemples sont disponibles auprès des auteurs.

⁴⁹ Cette illustration s'inspire du projet analysé dans Lak, S. (2019). Blue hydrogen as accelerator and pioneer for energy transition in the industry, H-vision, Feasibility study report.

Tableau 1

Commençons par analyser ce projet en nous intéressant seulement à son impact sur sa durée de vie. L'investissement sera lancé en année 3 et il sera opérationnel jusqu'à l'année 8. Le tableau 2 donne les données correspondantes.

Projet analysé sur la durée de vie de l'unité décarbonée

année de déroulement du projet	t	0	0	0	0	4	5	6	7	8	0	0	0	0	0	0	0
production BAU	Qt		0	0	0	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
production décarbonée	qt		0	0	0	25	50	75	100	100	0	0	0	0	0	0	0
écarts de coût variable par rapport à BAU			0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
coût fixe à la date 0		91,51															
NPV des écarts de coûts à la date 0	NPV	97,28															
emissions BAU	kQ		0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
abattements	at		0,00	0,00	0,00	0,13	0,25	0,38	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
somme non actualisée des abattements	Aa	1,75															
somme actualisée des abattements	Ab	1,44															

Tableau 2

Nous pouvons maintenant calculer les indicateurs classiques de taux d'abattement. Le LCCA pour *Levelized Cost of Carbon Abatement* (méthode 3 coût d'abattement à valeur sociale du carbone constante, Criqui 2021) correspond à l'écart actualisé des coûts divisé par la somme non actualisée des abattements. Le LCC pour *Levelized Cost of Abatement* (méthode 1 coût d'abattement en budget carbone ou méthode 2 coût d'abattement ajusté à la valeur sociale du carbone, Criqui 2021). On obtient les valeurs suivantes.

LCC à la date 0	NPV/Aa	55,59
LCCA à la date 0	NPV/Ab	67,46

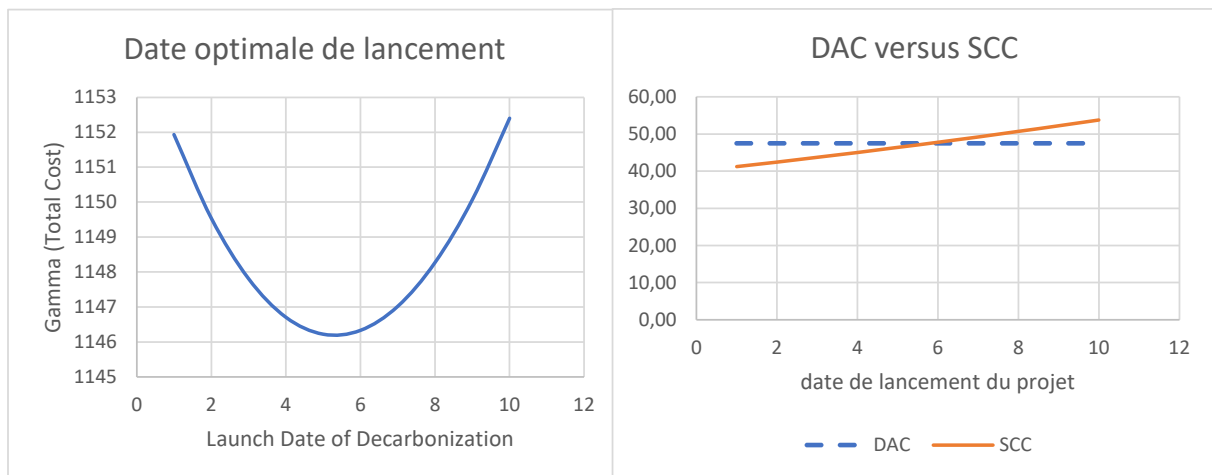
Tableau 3

Prenons maintenant un point de vue NZE. Le projet doit être complété au-delà de la date 8 par un nouvel investissement décarboné et investissement renouvelé tous les 5 ans. Dans ces conditions l'analyse du projet « étendu » doit s'appuyer sur les données du tableau 4. Les coûts variables sont détaillés avant, pendant la montée en puissance et une fois la complète décarbonation de l'activité. Le coût du renouvellement tient compte du renouvellement tous les 5 ans. On en déduit la valeur actualisée de la mise en place de l'unité décarbonée par rapport à l'arrêt de l'activité carbonée, en incluant le coût social des émissions résiduelles, c'est-à-dire la valeur de Gamma dans la section précédente. De cette valeur on peut calculer le coût d'abattement dynamique (noté DAC), soit 47.50.

Projet NZE																	
année	t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCC	Pt	40	41	42	44	45	46	48	49	51	52	54	55	57	59	61	62
production	Qt		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
taux de production décarbonée	%		0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
production décarbonée	qt		0	0	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100
CO2 emissions	k(Qt-qt)		0,50	0,50	0,50	0,38	0,25	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
coût annuels des CO2 emissions	Ptk(Qt-qt)		20,60	21,22	21,85	16,88	11,59	5,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
coût actualisé des CO2 emissions		90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
coût variable			10,0	10,0	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
coût variable avant la date de lancement			10,0	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
coût variable avant la date de lancement		28,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
coût variable pendant le déploiement			0,0	0,0	0,0	10,5	11,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
coût variable actualisé pendant le déploiement		28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
coût variable actualisé après le déploiement		334,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coût actualisé de la totalité des coûts fixes		666	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coût total du projet à la date 0	Gamma	1147,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coût cash actualisé du projet évalué à la date de lancement s	l(s)	1124,99															

Tableau 4

Il est facile de voir que le DAC ne dépend pas de la valeur retenue pour lancer le projet étendu, c'est une donnée intrinsèque. Selon notre méthodologie la date optimale de lancement est celle pour laquelle le DAC est égal la valeur tutélaire du carbone, valeur qui augmente au même rythme que le taux d'actualisation (règle de Hotelling). La valeur optimale de lancement du projet étendu est d'un peu plus de 5 ans, ce qui peut se vérifier graphiquement (graphiques 1 et 2)



Graphiques 1 et 2

Noter que les indicateurs classiques LCCA et LCC ne permettent pas déterminer la date optimale du projet étendu. En écrivant ces indicateurs, et en faisant apparaître le caractère multiplicateur du taux d'actualisation, Il est facile de voir que le LCCA du projet étendu est constant et indépendant du nombre de renouvellement de l'unité décarbonée (numérateur et dénominateur étant affecté pour le même facteur) tandis que le LCC tend vers zéro (seul le numérateur est affecté, le dénominateur croissant indéfiniment). Ces deux indicateurs sont inopérants dans le contexte de la NZE !

De l'importance de comparer des trajectoires NZE et non pas des options correspondant à des niveaux différents de décarbonation

Dans la littérature appliquée on trouve de nombreux exemples dans lesquelles on compare des technologies avec des efficacités partielles de décarbonation⁵⁰. Une illustration simple consiste à comparer l'intérêt d'un passage d'un véhicule à combustion interne à véhicule hybride ou à un véhicule électrique⁵¹. Les données retenues sont rassemblées dans le tableau 5 (le taux d'actualisation est pris égal à 4,5%).

<i>le véhicule</i>	<i>électrique</i>	<i>hybride</i>
prix achat € incrémental	5 043	1 460
gain incrémental annuel €/an	150	50
durée de vie année	16	16

Tableau 5

A partir de ces données on peut déterminer le LCCA. Le tableau 6 explicite les calculs et donne les résultats correspondants.

<i>le véhicule</i>		<i>électrique</i>	<i>hybride</i>
somme des émissions évitées	An	28,8	8
somme actualisée des émissions évitées	An(i)	21,13	5,87
émissions évitées par an	a=An/n	1,8	0,5
Coût actualisé sur 16 ans	I	3281,61	873,40
LCCA	I/An(i)	155,30	148,80

Tableau 6

Ces résultats inviteraient à retenir le véhicule hybride, ce qui de notre point de vue est inacceptable puisque ce véhicule ne conduit pas à une décarbonation complète, donc non compatible avec l'objectif de NZE.

⁵⁰ Voir par exemple Friedmann, J., Fan, Z., Byrum, Z., Ochu, E., Bhardwaj, A. and Sheerazi, H. (2020). Levelized cost of carbon abatement: An improved cost-assessment methodology for a net-zero emissions world, Columbia University SIPA Center on Global Energy Policy: New York, NY, USA .

⁵¹ Cette illustration s'inspire directement de l'annexe 2 dans Criqui, 2021 opus cité.

Pour avoir des stratégies admissibles on peut par exemple comparer une première stratégie dans laquelle on opte en permanence pour le véhicule électrique (en le renouvelant régulièrement) et une deuxième stratégie dans laquelle on opte d'abord pour le véhicule hybride puis on passe définitivement à l'électrique. Le tableau 7 explicite la mise en œuvre de notre méthodologie pour comparer ces deux stratégies

Comparaison de deux stratégies		elec direct	hybr + elec
facteur actualisation sur durée de vie	$r=1/(1+i)^{16}$	0,49	0,49
Coût actualisé de 0 à l'infini	$C=l/(1-r)$	6491,41	4083,21
Coût annuel équivalent	$iC/(1+i)$	279,53	4000,00
émissions évitées par an	$a=An/n$	1,80	1,80
Coût abattement dynamique (DAC)	iC/a	155,30	100,00
SCC		100	100
T optimal de lancement	nb années	10,00	0,00
les émissions sont nulles après 16 ans	nb années	16,00	16,00
Emissions cumulées jusqu'à cette date		18,00	20,80
Le scénario elec direct est préférable			

Tableau 7

Le calcul du DAC permet de déterminer la date optimale du lancement de chaque stratégie, soit dans 10 ans pour la stratégie tout élec et dès aujourd'hui pour la stratégie hybride + élec. On calcule ensuite les émissions totales respectives jusqu'à ces dates et on en conclut que la stratégie tout élec est préférable contrairement à ce que suggère l'analyse traditionnelle.

La nouvelle méthodologie s'applique à l'ensemble d'un secteur en tenant compte des externalités entre unités (effet d'apprentissage et spillovers)

On raisonne ici en temps continu. On suppose que deux unités de production seront nécessaires pour décarboner l'activité polluante qui émet E . Chaque unité a une durée de vie d et implique un coût fixe $F/2$, il n'y a pas de coût d'exploitation ni pour l'unité polluante ni pour les unités décarbonées, seul importe le coût fixe. Les valeurs retenues sont indiquées dans le tableau 8

E	0,05
P0	1
i	3%
E/2	0,025
F/2	0,5
d	15
$F/2(1-e^{-id})$	1,38
$DAC=iF/E$	1,66
s	16,81

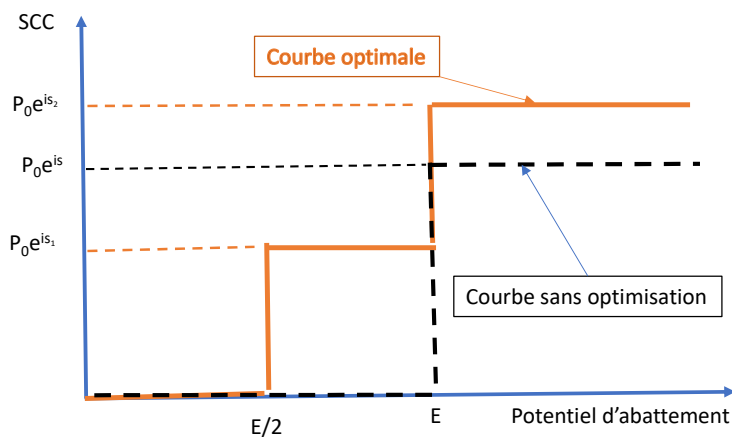
Tableau 8

Dans ce tableau on a calculé le DAC lorsqu'on considère chaque unité comme indépendante. La date optimale est 16,81.

Nous supposons maintenant qu'à chaque renouvellement d'une unité de production le coût fixe bénéficie d'un effet d'apprentissage λ , il devient donc $\lambda F/2$. Par ailleurs si la deuxième unité de production est lancée après la première elle bénéficie d'un spillover qui dépend du délai t entre les deux lancements. Pour un délai t la réduction est $\lambda^{t/d}$ (pour atteindre un spillover de λ le délai doit être de d)

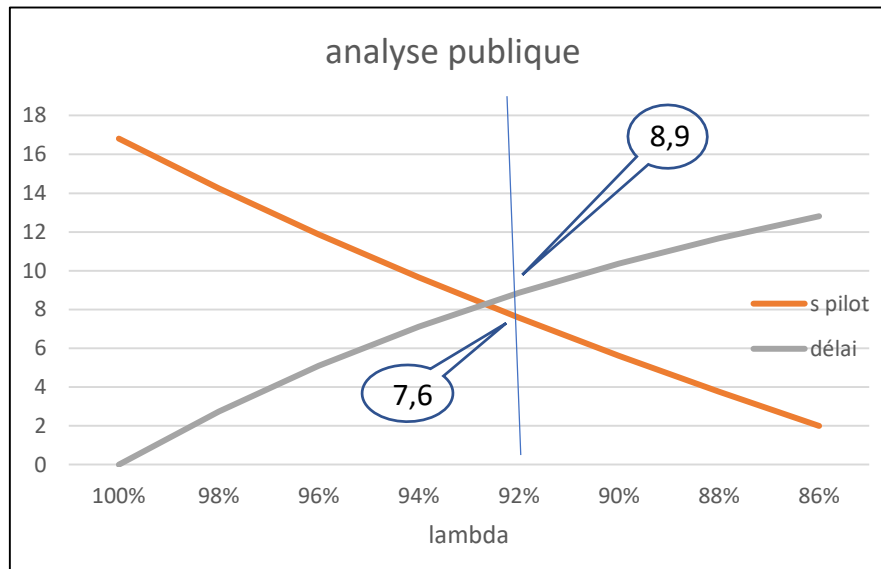
On appelle unité pilote l'unité de production qui sera lancée en premier et follower la seconde unité. On va déterminer l'impact de ces effets d'apprentissage et de spillover sur les dates de lancement en appliquant notre méthodologie. La valeur actualisée de la mise en place d'une trajectoire (1) doit être reprise en introduisant l'unité pilote lancée à la date s_1 et l'unité follower à la date s_2 c'est-à-dire avec un délai T . Les dates optimales peuvent alors être déterminées.

On peut déduire de ces dates la courbe d'abattement du secteur. Elle est reproduite sur le graphique 3 avec en ordonnée la valeur sociale du carbone et en abscisse le potentiel d'abattement. Lorsque le SCC atteint la valeur $P_0 e^{is_1}$ la première unité abat $E/2$, puis lorsque le SCC atteint la valeur $P_0 e^{is_2}$ la deuxième unité abat $E/2$. On a reproduit aussi sur le graphique la courbe d'abattement correspond au lancement simultané des deux unités à la date $P_0 e^{is}$. Notre méthodologie permet ainsi de visualiser la trajectoire optimale de décarbonation avec des dates interdépendantes l'une de l'autre, contrairement à la représentation habituelle dans laquelle on superpose des MAC statiques.



Graphique 3

Les dates optimales de lancement sont représentées dans le graphique 4 en fonction du paramètre λ . Par exemple prenons une valeur de 92% pour lambda (lors de chaque renouvellement le coût fixe F baissera de 8%). La deuxième unité lors de son premier lancement aura un coût fixe qui va dépendre du délai par rapport à la première unité. Avec cette valeur de lambda la date optimale du lancement de la première unité est égale à 7,6 et le délai d'attente pour lancer la deuxième unité est de 8,9, son coût fixe n'aura baissé que de 95% = $.92^{8,9/15}$ %.

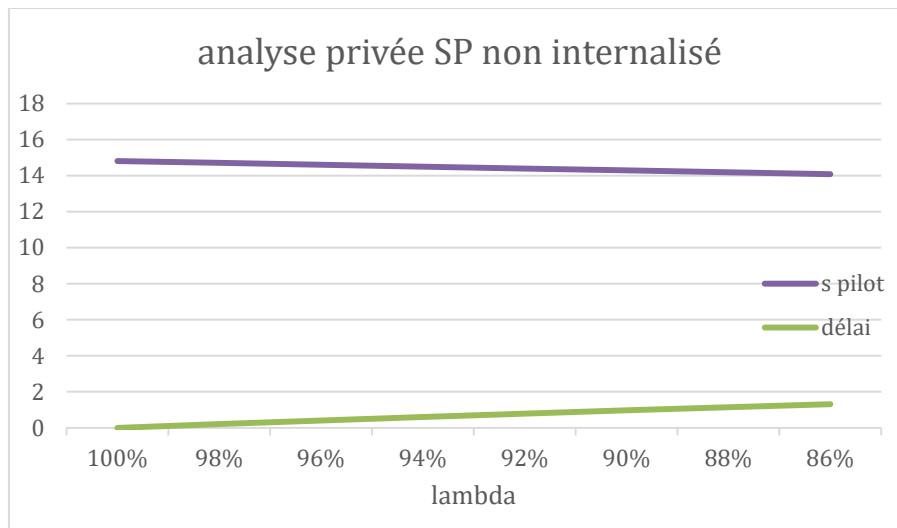


Graphique 4

On constate sur le graphique 4 que plus le taux d'apprentissage est élevé (plus λ décroît) plus il est optimal, d'une part, de lancer tôt l'unité pilote et, d'autre part, d'attendre avant de lancer le follower pour bénéficier de spillovers importants.

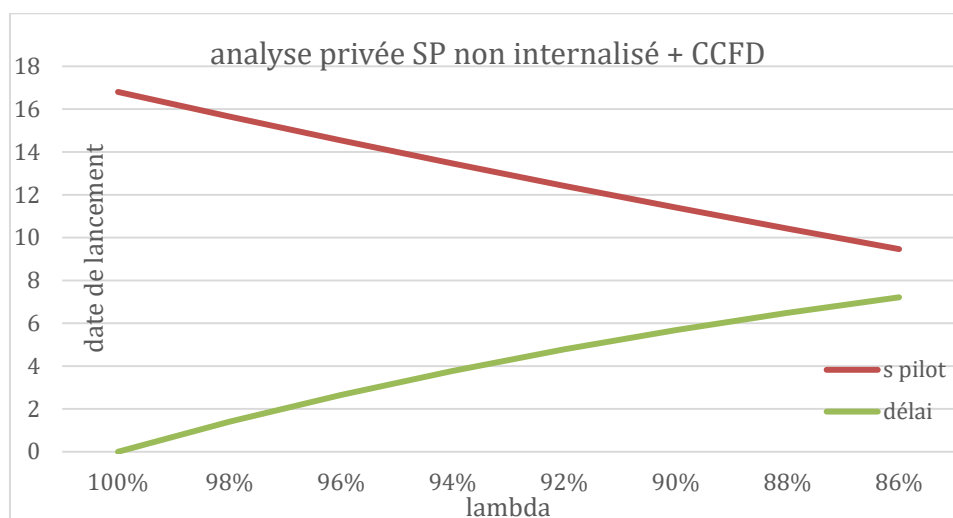
On peut contraster cette stratégie avec celle qui serait mise en œuvre par des entreprises privées indépendantes, possédant chacune un des deux unités. Il faudrait alors s'intéresser à la structure concurrentielle, et aux enjeux stratégiques liées au fait d'être le leader ou le follower dans la transition énergétique sur l'évolution des parts de marché, à la possibilité de mettre en place des brevets... En outre les considérations associées à la demande et aux substitutions éventuelles avec d'autres produits pourrait jouer un rôle important.

Dans cette illustration on se contente d'une vision très limitée du passage d'une perspective publique à une perspective privée. On suppose que seul l'effet d'apprentissage serait pris en compte alors que le spillover n'est pas intégrée dans l'évaluation de l'unité pilote. Si on suppose en outre que le prix de marché du carbone sur l'ETS est inférieur à sa valeur tutélaire (par exemple 70%), et que celles-ci utilisent un coût du capital nettement plus élevé (par exemple 8%) on obtient le graphique 5.



Graphique 5

On voit que les impacts de l'apprentissage et des spillovers deviennent négligeables. Il est alors d'autant plus important d'introduire des politiques publiques permettant d'induire des comportements privés se rapprochant de l'optimum social. On peut penser par exemple aux CCFD (*carbon contract for differences* corrigeant la distorsion entre le prix du carbone et sa valeur tutélaire, et ainsi de réduire le coût du capital pour l'entreprise en éliminant l'incertitude lié au prix de marché sur l'ETS). On obtient le graphique 6. Si on autorisait les firmes à coopérer pour internaliser les spillovers, on reviendrait au graphique 3.



Graphique 6

Quelques précautions à prendre pour la mise en œuvre

Le fait de poser le problème de la décarbonation dans le cadre de la NZE conduit à des changements majeurs dans le coût d'abattement à prendre en compte. *Celui-ci doit se calculer comme le coût marginal du décalage dans le temps de la décarbonation.* La mise en œuvre

de cette approche induit un changement de perspective. Sa mise en œuvre sur des cas concrets nécessite plusieurs précautions, notamment :

- L'identification des effets d'apprentissage et de spillovers s'appuie en général sur des données passées, qui sont difficiles à extrapoler ; or les résultats sont très sensibles aux paramètres retenus.
- Dans de nombreux cas il existe deux sources de baisses de coût : les effets ci-dessus qu'on peut qualifier d'endogènes mais aussi des effets exogènes issus de la diffusion du progrès technique au sein du secteur, ou même provenant d'autres secteurs ; on peut alors avoir recours à un « gros » modèle comme celui mobilisé par exemple dans les *industries abatement curve* de Mc Kinsey, mais ces gros modèles sont en général peu transparents ⁵².
- Dans l'application numérique on n'a pas tenu compte des actifs échoués, l'activité polluante peut elle-même être soumise à un rythme d'investissements avec des durées de vie spécifiques, il faudra en tenir compte.
- Le raisonnement s'est fait sans s'intéresser aux conséquences en termes de marché ; si les coûts augmentent on peut s'attendre à un impact sur les prix et sur les quantités vendues ; pour une entreprise privée il conviendrait d'introduire la structure de marché et son impact sur les modalités de la concurrence.
- On peut considérer que des calculs faits sur des horizons très longs n'ont pas beaucoup de crédibilité ; plutôt que d'évaluer des scénarios probabilistes, l'idée serait plutôt de définir des cibles déterministes intermédiaires cohérentes avec l'objectif de la NZE, et d'en réactualiser périodiquement l'évaluation en fonction des réalisations pour vérifier que les cibles intermédiaires restent crédibles.

⁵² Voir Kesicki, F. and Ekins, P. (2012). Marginal abatement cost curves: a call for caution, *ClimatePolicy* 12(2): 219{236.