



# Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) de la France à l'échelle d'une organisation

## National Low-Carbon Strategy (NLCS) of France at the scale of an organization

CLAUDE Francis  
Enseignant-chercheur  
ESTP

Grande école d'ingénieurs de la construction  
Cachan, France  
fclaude@estp.fr

GARATTI Alexis  
Climate Change Manager  
Allianz Trade  
Courbevoie

THING LEO Gilles  
Enseignant-chercheur  
ESTP

Grande école d'ingénieurs de la construction  
Cachan, France  
gilles.thingleo@estp.fr

**Résumé** — Cet article s'interroge sur la mise en œuvre de la Stratégie Nationale Bas Carbone de la France à l'échelle d'une organisation. Les principaux textes de lois sont étudiés ainsi que les documents publiés par le gouvernement de façon à bien identifier les hypothèses et les objectifs de cette stratégie. En l'absence de système de mesure de la performance et des gains de productivité à réaliser, notre motivation a alors été de projeter les hypothèses et les objectifs au niveau national jusqu'en 2050 de façon à pouvoir les retranscrire à l'échelle d'une organisation qui souhaite disposer de différents ordres de grandeur associés à cette stratégie nationale. En effet, cette stratégie est définie au niveau global de l'économie puis déclinée pour sa mise en œuvre, en termes de gouvernance (à l'échelle nationale et territoriale) et en termes d'orientations transversales et sectorielles. Ainsi, à l'échelle d'une organisation la problématique à résoudre est de définir les profils des différentes hypothèses et objectifs à horizon 2050 et de les transcrire en termes d'objectifs de performance et de gains de productivité à réaliser à l'échéance et tout au long de la période.

La méthode générale de résolution de problèmes complexes s'appuie sur celle de H.A Simon à laquelle nous avons adossé une technique actuarielle de façon à projeter les hypothèses et les objectifs à l'échéance. Les résultats, concernant les hypothèses et les objectifs, sont présentés sous forme de profils de trajectoires à l'échelle nationale desquels nous pouvons en inférer des taux annuels sur la période considérée. Ainsi, il devient possible de spécifier, pour une unité de 1 million d'euros de création de valeur ajoutée, avec comme base les années 1990 et 2022, les objectifs en termes de gains de performance et de productivité à réaliser jusqu'en 2050. La discussion qui suit se propose d'ouvrir les travaux de prospectives menés au niveau macroéconomique à l'échelle microéconomique de façon à tenir compte dans les modèles des prédictions de comportements.

**Mots-clefs** — *SNBC, transition écologique, neutralité carbone, trajectoire énergétique, consommation énergie finale, biens soutenable*s contingents

**Abstract** — This article questions the implementation of France's National Low Carbon Strategy at the scale of an organization. The main legal texts are studied as well as the documents published by the government in order to clearly identify the hypotheses and objectives of this strategy. In the absence of a system for measuring performance and productivity gains to be achieved, our motivation was then to project the hypotheses and objectives at the national level until 2050 so as to be able to transcribe them on the scale of an organization that wishes to have different orders of magnitude associated to the national strategy. Indeed, this strategy is defined at the overall level of the economy then broken down for its implementation, in terms of governance (at the national and territorial scale) and in terms of transversal and sectoral orientations. Thus, at the scale of an organization, the problem to be resolved is to define the profiles of the different hypotheses and objectives for 2050 and to transcribe them in terms of performance objectives and productivity gains to be achieved by the end and throughout the period.

The general method for solving complex problems is based on that of H.A Simon to which we have added an actuarial technique in order to project the hypotheses and objectives at maturity. The results, concerning the hypotheses and objectives, are presented in the form of trajectory profiles on a national scale from which we can infer annual rates over the considered period. Thus, it becomes possible to specify, for a unit of 1 million euros of added value creation, with the years 1990 and 2022 as a basis, the objectives in terms of performance and productivity gains to be achieved until 2050. The following discussion aims to open up the prospective work carried out at the macroeconomic level to the microeconomic scale so as to take into account predictions of behavior in the models.

**Keywords** — *NLCS, ecological transition, carbon neutrality, energy pathways, final energy consumption, contingent sustainable goods*

## INTRODUCTION

Compte tenu de la Stratégie Nationale Bas-Carbone de la France (SNBC), cet article s'interroge sur sa mise en œuvre à l'échelle d'une entreprise et s'inscrit dans le cadre de la phase anticipation (*intelligence activity*), au sens de H. A. Simon, d'une démarche de management intégré des risques. Cette phase revient à rechercher dans l'environnement des conditions qui appellent des décisions. Lors d'une publication au Lambda Mu 23 (Claude & Signoret, 2022, p.6), le management intégré des risques avait été positionné comme un modèle relais à la gouvernance d'entreprise (*Corporate governance*), et par conséquent à son principal dispositif de gouvernance des risques, le management des risques de l'entreprise (ERM), et *in fine* comme choix possible pour une direction générale d'entreprise de mode de gouvernance interne. Celui par les normes de système de management de la qualité est une autre alternative.

Pour la stratégie SNBC, nous avons tout d'abord tenté d'identifier l'hypothèse principale formulée dans la démarche expérimentale de modélisation prospective ayant conduit à la définition de la SNBC ainsi que ces objectifs et hypothèses. Pour ce faire, la première section, en tant qu'état de l'art, synthétise l'étude des textes de lois ainsi que les principales publications associées à la SNBC depuis 2015 de façon à bien identifier ses objectifs, ses hypothèses et l'hypothèse principale et enfin la gouvernance envisagée, les orientations retenues ainsi que son mode de révision.

La deuxième section identifie le verrou de cette recherche, l'hypothèse de travail retenue, présente la méthode de résolution de problèmes complexes ainsi que la technique retenue. Cette section se conclut par un bilan des décisions passées observables sur l'échantillon des sociétés non financières.

La troisième section est consacrée à la résolution de notre problématique qui est de permettre à une entreprise de définir les profils des différentes hypothèses et objectifs à horizon 2050, avec les jalons intermédiaires, et de les transcrire en termes d'objectifs de performance et de gains de productivité à réaliser à l'échéance et tout au long de la période. Selon les objectifs et les hypothèses de la SNBC, une analyse des connaissances existantes a été nécessaire notamment pour la démographie, l'énergie et les puits de carbone naturels de façon à disposer des informations nécessaires pour établir les profils de trajectoires des hypothèses et objectifs de la SNBC à horizon 2050. Afin de concrétiser les hypothèses et les objectifs de la SNBC et pour disposer d'informations relativement précises des taux (assimilables à des gains de productivité et de performance à réaliser) les calculs sont effectués sur la base des données recueillies.

Les résultats ainsi que les tests sont présentés dans la quatrième section. Enfin, avant de conclure, une discussion des résultats est proposée ainsi que les perspectives de recherche complémentaires envisagées.

### I. LA STRATEGIE NATIONALE BAS CARBONE : LES LOIS, LES OBJECTIFS, LES HYPOTHESES ET SA GOUVERNANCE

Face à la demande et la difficulté rencontrée de pouvoir s'aligner à l'échelle d'une organisation à la SNBC, la première section synthétise l'étude des textes de lois ainsi que les principales publications associées à la SNBC depuis 2015. Cette étape permet de bien identifier ses objectifs, ses hypothèses et l'hypothèse principale ainsi que la gouvernance proposée, les orientations retenues ainsi que son mode de révision.

Le ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires (MTECT) décrit la SNBC de la façon suivante : "introduite par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTE), la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) est la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique. Elle donne des orientations pour mettre en œuvre, dans tous les secteurs d'activité, la transition vers une économie bas-carbone, circulaire et durable. Elle définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050 et fixe des objectifs à court-moyen termes : les budgets carbone. Elle a deux ambitions : atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 et réduire l'empreinte carbone de la consommation des Français. Les décideurs publics, à l'échelle nationale comme territoriale, doivent la prendre en compte" (MTE, 2020).

#### A. La Stratégie Nationale Bas-Carbone : les lois

Après avoir été entériné le 12 décembre 2015, l'Accord de Paris est signé le 22 avril 2016 à l'Organisation des Nations unies (ONU) par 196 pays (dont 176 en une seule journée, ce qui constitue un record). Il est entré officiellement en vigueur le 4 novembre 2016. A ce jour, il a été ratifié par 194 Parties (193 pays et l'Union européenne). Par cet Accord, les pays signataires se sont engagés à limiter la température moyenne bien en dessous de +2°Celsius (C) tout en poursuivant leurs efforts pour la maintenir si possible à +1,5°C au-dessus des niveaux préindustriels. Compte tenu des recommandations du Groupe d'Experts Intergouvernementaux sur l'Évolution du Climat (GIEC), cela s'est traduit pour la France en 2015 par une première Stratégie Nationale Bas Carbone qui définissait la marche à suivre et dégagait des recommandations dans différents secteurs de façon à réduire les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) de 40% entre 1990 et 2030 et de les diviser par quatre entre 1990 et 2050. Cette réduction de 75% de 2050 par rapport à 1990 est connue sous l'appellation de "facteur 4".

Néanmoins depuis la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 (LTE), en juillet 2017, le Plan Climat de la France a fixé de nouveaux objectifs dont l'atteinte de la *neutralité carbone* à l'horizon 2050 et c'est un objectif inscrit dans la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (LEC). La nouvelle version de la SNBC (SNBC-2) et les budgets carbone pour les périodes 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033 sont développées dans le décret du 21 avril 2020. Les budgets carbone sont des plafonds à ne pas dépasser par périodes de 5 ans. Sur son site web le MTE met à disposition la SNBC révisée complète (MTE, 2024), une synthèse et un résumé en 10 points (MTES, 2020). Elle est accompagnée d'un rapport, d'une évaluation environnementale, de documents concernant la consultation du public ainsi que des avis du Conseil Économique, Social et environnemental et du Conseil Supérieur de la Construction et de l'Efficacité Énergétique.

Le cap, l'ambition de long terme à horizon 2050 est donc la neutralité carbone. Le concept de "neutralité carbone" est défini par la loi comme "un équilibre, sur le territoire national, entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre". Autrement dit, les émissions nationales de Gaz à Effet de Serre (GES) devront être inférieures ou égales aux quantités de GES absorbées par les écosystèmes naturels (forêts, terres cultivées, prairies,...) ainsi que par des procédés industriels tel que la capture et le stockage ou la réutilisation du carbone. Les GES pris en compte sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>), le trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>). De façon à harmoniser les calculs et obtenir une quantité d'émission en CO<sub>2</sub> équivalent (CO<sub>2</sub>e), kilo ou million de tonnes métriques d'équivalent CO<sub>2</sub> respectivement kt CO<sub>2</sub>e et Mt CO<sub>2</sub>e, des facteurs de conversion ont été appliqués. L'objectif de neutralité carbone inclut l'ensemble des GES, c.-à-d. zéro émission nette et par conséquent sans recours à la compensation par des mécanismes de type crédits carbone internationaux.

### B. La Stratégie Nationale Bas-Carbone : les objectifs

Le point d'équilibre à horizon 2050 est fixé à 80 MtCO<sub>2</sub>. Le cap de la France s'inscrit dans celui fixé par le Conseil Européen qui a adopté en date du 12 décembre 2019 l'objectif de neutralité climatique de l'UE en 2050, faisant de l'Europe le premier continent à se doter de cet objectif.

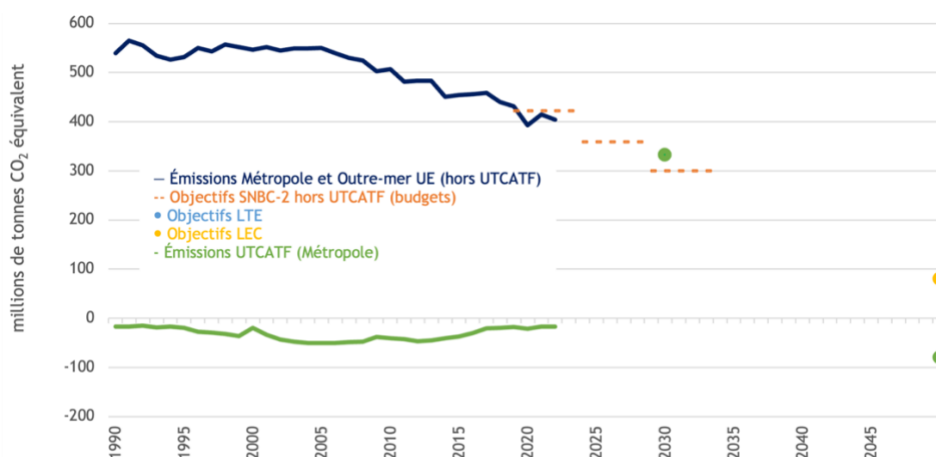
De façon à informer les décisions de court terme malgré les objectifs de long terme, une particularité de la France a été d'inscrire ses objectifs dans la loi, de définir des budgets quinquennaux et enfin de répartir l'objectif global en cibles sectorielles. Ainsi, le « Projet de la France » pour être cohérent avec les engagements internationaux (Accord de Paris, Objectifs du Développement Durable de l'ONU) et avec la politique communautaire contient les objectifs suivants :

- atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 ;
- réduire les émissions de GES de -40% en 2030 par rapport à 1990 ;
- respecter les budgets carbone.

De plus, les enseignements tirés de l'exercice de modélisation prospective montrent que réussir la transition bas-carbone vers la neutralité carbone à l'horizon 2050, sans avoir recours à des crédits internationaux, implique, à l'échelle du territoire français, de tenir compte des objectifs suivants (MTES, 2020) :

- objectif 1 - décarboner complètement la production d'énergie à l'horizon 2050 (à l'exception du transport aérien) ;
- objectif 2 - réduire de moitié les consommations d'énergie dans tous les secteurs d'activité, en développant des équipements plus performants et en adoptant des modes de vie plus sobres et plus circulaires ;
- objectif 3 - réduire au maximum les émissions non énergétiques, issues très majoritairement du secteur agricole et des procédés industriels. Ce sont les émissions de l'agriculture et des procédés industriels, qui ne dépendent pas des consommations d'énergie ;
- objectif 4 - augmenter et sécuriser les puits de carbone, c'est-à-dire les écosystèmes naturels, les procédés et les matériaux capables de capter une quantité significative de CO<sub>2</sub> : sols, forêts, produits issus de la bioéconomie (paille, bois pour la construction...), technologies de capture et stockage du carbone. Le secteur de l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) selon la définition de l'Insee "permet de rapporter les flux de CO<sub>2</sub> entre différents réservoirs terrestres (biomasses, sols, etc.) et l'atmosphère qui ont lieu sur les surfaces gérées d'un territoire. Il peut aussi constituer une source nette ou un puits net de CO<sub>2</sub>. Les méthodes de calcul de ces émissions et absorptions sont définies par le GIEC. Une ressource concernant la stratégie de capture, stockage et utilisation du carbone (CCUS) est disponible sur le site du Conseil National de l'Industrie (France 2030, sd). 50 sites industriels en France ont réalisé des feuilles de route qui envisagent une réduction de 45% des émissions. Le potentiel estimé est de 4 à 8 MtCO<sub>2</sub> à capter par an à horizon 2030 et de de 15 à 20 à horizon 2050.

Fig. 1. Évolution des émissions de CO<sub>2</sub>e hors UTCATF en France



Le graphe ci-dessus est issu des données disponibles sur le site du CITEPA d'après les données du rapport Secten 2023 (CITEPA, 2024). Les émissions retenues sont celles de tous les GES au périmètre "Union européenne", Métropole et Outre-mer (hors UTCATF) en MtCO<sub>2e</sub> par an. Les émissions des UTCATF sont au périmètre "Métropole".

La courbe bleue traduit le comportement des quantités émises de GES, les trois budgets carbone sont mentionnés en pointillés orange et les objectifs à 2030 (loi LTE) et 2050 (loi LEC) en rond pleins respectivement bleu et jaune.

La courbe verte traduit les comportements des puits de carbone naturels en termes d'absorption de GES (périmètre Métropole). Le point vert en 2050 marque l'objectif d'absorption de -80 MtCO<sub>2e</sub>.

Le point médian entre le point jaune et le point vert marque des émissions nettes de CO<sub>2e</sub> égales à zéro. Nous retrouvons bien le concept de neutralité où les émissions positives sont couvertes par les émissions négatives. **La neutralité "carbone" tient compte dans les faits de tous les GES** sans oublier l'avertissement du Citepa : " les émissions naturelles (volcanisme, foudre, émissions de COV de la végétation...) sont estimées avec beaucoup d'incertitudes et sont présentées ici à titre d'information. Elles ne sont pas calculées de manière exhaustive: certaines sources ne sont pas prises en compte. L'objectif de l'inventaire national étant de comptabiliser les **émissions d'origine anthropique**". Enfin, les trajectoires d'émissions des GES ci-dessus ne représentent pas l'empreinte carbone (EC) qui est selon la définition de l'Insee "la quantité de GES induite par la demande finale intérieure d'un pays... que les biens soient produits sur le territoire national ou importés". L'EC quantifie l'émission des ménages, celles issues de la production intérieure de biens et de services pour la production intérieure (c.-à-d. hors exportations) et celles associées aux biens et services importés, pour usage final des ménages ou pour les consommations intermédiaires des entreprises pour produire les biens et services destinés à la demande intérieure.

### C. Identification des hypothèses

Dans le document qui décrit la SNBC-2 (MTE, 2020) la principale discussion sur les hypothèses porte sur le scénario de référence retenu élaboré avec les parties prenantes à la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE). Ce scénario nommé « Avec Mesures Supplémentaires » (AMS) permettrait à la France de respecter ses objectifs climatiques et énergétiques à court, moyen et long-terme. Les scénarii initiaux étaient des scénarii "Avec Mesures Existantes" (AME 18, AME 21 et AME 23). Une discussion des scénarii est disponible sur le site web du MTECT (MTECT, 2024).

#### 1) Identifications des hypothèses

Les informations ci-dessous concernent les paramètres de cadrage (MTE, 2023a) (MTE, 2023b). Le lecteur intéressé pourra se référer aux ressources pour identifier les hypothèses sectorielles.

- Pour les projections de population il a été retenu le scénario central de l'Insee mis à jour en 2021 (Algava & Blanpain, 2021). Le scénario central tient compte d'une population en croissance attendue à 69 millions de personnes à horizon 2050 dont un solde migratoire positif de +70 000 personnes sur la période.
- Pour le Produit Intérieur Brut (PIB) les hypothèses relatives à sa croissance sont reprises initialement du cadrage fourni par la Commission Européenne. L'AME 2023 rétablit l'anomalie qui consistait à tenir compte dans le scénario de référence de la Commission d'une poursuite de la tertiarisation de l'économie et de la désindustrialisation. Or, les scénarios AMS sont "dotés de narratifs de réindustrialisation" et désormais l'AME 2023 en tient compte. Néanmoins, pour le PIB sur la période 2019-2050 le taux de croissance annuel moyen (TCAM) est fortement impacté par l'année 2020. Initialement, le document sur les Scénarios prospectifs Energie-Climat-air pour la France à l'horizon 2035 publié en 2015 (MEDDE-DGEC, 2015) tenait compte d'un TCAM de 1,7% sur la période 2015-2035. Le rapport complet de Réseau de Transport d'Électricité (RTE) sur les Futurs Énergétiques 2050 publié en 2022 (RTE, 2022) mentionne une croissance du PIB soutenue avec un TCAM de 1,3 à 1,4% par an d'ici 2030 puis de 1,7% par an à partir de 2030. À la suite de la consultation publique, les hypothèses macro-économiques ont été ajustées avec une hypothèse pour 2020-2030 (non précisée) et une projection au-delà de 2030 ramenée à 1,3%. Les scénarios prospectifs ont été actualisés en 2020 (MEDDE-DGEC, 2020).

Toujours sur le PIB, nous n'avons trouvé aucune mention du type de PIB qui sert de référence. S'agit-il du PIB en volume (réel) ou en valeur (nominal c.-à-d. non corrigé de l'inflation) ? Pour mesurer la croissance réelle, l'impact de l'inflation doit être éliminé de façon à calculer un PIB en volume. Avec un niveau cible (actuellement) de 2% d'inflation par an, compte tenu du niveau annoncé de 1,3% par an à partir de 2030 et jusqu'en 2050 nous partons du principe qu'il s'agit du PIB en volume et non du PIB nominal.

- Pour les prix importés des énergies (pétrole, charbon et gaz) un système de prix, issu du cadrage de la Commission est proposé pour 2020, 2025, 2030, 2035, 2040 et 2050. Il est aussi détaillé par type de carburant (essence, gazole, gazole professionnel), le gaz naturel véhiculé (GNV) et pour l'électricité.
- Pour le prix du carbone, la trajectoire prend le cadrage de la Commission pour le système d'échange de quotas d'émission (SEQE-UE) et pour la composante carbone qui n'intègre pas d'hypothèse explicite pour la valeur de l'inflation. La valeur de la composante carbone en euros constants est prise à 44,6€/t. Pour l'UE-SEQE les prix évoluent de 76 €/tCO<sub>2</sub> sur la période 2020-2025 à 80,8, 125 et 152 respectivement pour 2040, 2045 et 2050.

#### 2) Sélection de l'hypothèse principale de la SNBC

Le Shift Project avait communiqué sur le sujet lors de la consultation sur le projet de décret relatif à la SNBC et aux budgets carbone (Shift Project, 2020). La contribution faisait le constat que **la SNBC se donne pour cadre une croissance continue sur les trente prochaines années**. Le think tank qui œuvre en faveur d'une "économie libérée de la contrainte carbone" faisait la

remarque que cette hypothèse clé de la croissance « soit affichée en toute transparence, y compris dans la synthèse de la SNBC ». Cette remarque confirme la difficulté que nous avons eu à retrouver les informations a posteriori. Dans tous les cas, pour le Shift Project « cela correspond à une *hypothèse de découplage* entre la croissance et la consommation d'énergie ».

N'ayant jamais été observés à l'échelle mondiale, le Shift Project évoque l'apparition d'effets rebonds. En effet, comment s'assurer que « le pouvoir d'achat dégagé par les efforts de sobriété et d'efficacité (significatifs dans la SNBC) ne se reportent pas vers des biens et services carbonés quand, indépendamment de ces efforts, la consommation des Français augmente en valeur absolue car elle est tirée par un PIB croissant par hypothèse ? ».

#### D. Gouvernance, mise en œuvre et révision de la SNBC

“La transition bas-carbone implique une transformation profonde de l'économie française” (MTE, 2020).

En termes de mise en œuvre de la SNBC, 10 ministères qui couvrent les secteurs majeurs en termes d'émissions de GES doivent établir des feuilles de route pour renforcer la cohérence des politiques publiques avec les engagements de la France en matière de climat. *In fine*, le plan d'action du MTECT est construit autour des deux composantes clés des questions climatiques qui sont :

- **l'atténuation**, par la réduction des émissions de gaz à effet de serre : pour limiter l'impact des activités humaines sur le climat et l'environnement ;
- **l'adaptation** aux effets du changement climatique : pour limiter les impacts des évolutions du climat sur les sociétés humaines et l'environnement.

Pour cela, la SNBC a formulé 45 orientations de politiques publiques à traduire en mesures concrètes par tous les acteurs, en particulier les décideurs publics. Les orientations de gouvernance et de mise en œuvre (à l'échelle nationale et territoriale) sont déclinées par orientations sectorielles (transport, bâtiments résidentiel et tertiaire, agriculture, forêts-bois, industrie, production d'énergie et déchets) et transversales (empreinte carbone, politique économique, recherche et innovation, urbanisme, éducation et emploi). De plus, à chacune des 45 orientations de la SNBC, est associé un indicateur du niveau d'intégration dans les politiques publiques ainsi qu'un ou plusieurs indicateurs pilotes relatifs à la mise en œuvre de l'orientation. La SNBC envisage un cycle complet de révision tous les cinq ans.

Après cet état de l'art sur les lois qui concerne la SNBC, ses objectifs, ses hypothèses ainsi que sa gouvernance, sa mise en œuvre et sa révision, le constat est qu'il n'existe pas de système de mesure permettant à une organisation qui le souhaite de s'aligner à cette stratégie. La deuxième section décrit le verrou à lever, notre hypothèse de travail à vérifier et la démarche suivie avant de réaliser, dans la troisième section, les travaux à proprement parler de résolution de la problématique.

## II. VERROU, HYPOTHESE DE TRAVAIL A VERIFIER ET DEMARCHE SUIVIE

De façon à pouvoir résoudre la problématique, cette seconde section décrit tout d'abord le verrou à lever, l'hypothèse de travail, les phases principales de la méthode de résolution de problèmes complexes sélectionnée ainsi que la technique actuarielle retenue pour quantifier les objectifs de performance et de gains de productivité à réaliser pour une organisation. Il suit un bilan des décisions passées de façon à considérer les comportements induits observables concernant l'hypothèse principale.

### A. Verrou et hypothèse de travail retenue

Le verrou principal pour parvenir à ce qu'une organisation puisse retranscrire à son échelle la stratégie SNBC est que les hypothèses ainsi que les objectifs sont d'une part, dans des attributs d'analyse différents (population, PIB, prix des énergies, prix du carbone, réduction des émissions de GES, réduction de la consommation d'énergie, puits de carbone naturels) et des grandeurs différentes (millions d'habitants, millions d'euros, dollar US par baril, euros par mégawatheures, CO<sub>2</sub>e,...). En conséquence, pour disposer d'un système de mesure, sur ces différents attributs et ces différentes grandeurs, qui permette à une organisation de se s'aligner à son échelle aux objectifs et hypothèses de la SNBC, nous faisons l'hypothèse que, si nous parvenons à établir les profils de trajectoires des différentes hypothèses de la SNBC ainsi que ces objectifs au niveau national en continuité avec les trajectoires historiques alors, pour une unité de 1 million d'euros de valeur ajoutée brute produite par une organisation, il sera possible de retranscrire ces hypothèses et objectifs nationaux pour une organisation.

De façon plus générale, considérons les décideurs de l'organisation qui vont avoir à faire des choix de planification d'objectifs et d'allocations de ressources pour mettre en œuvre et réaliser la SNBC à leur échelle. Ils font face à l'incertitude quant aux différents résultats qui seront réalisés dans le futur sur les différents attributs sur un ensemble  $T = \{0,1,2, \dots, T\}$  de dates. Les budgets carbone, les objectifs intermédiaires (2030) et finaux (2050) étant basés sur des années, une date correspondra à une année d'exercice comptable généralement l'année civile. Cette notation générale permet aussi de tenir compte de périodes de clôture différentes et/ou d'observation trimestrielle des activités. Par exemple, il sera possible de considérer sur notre ensemble  $T$  de dates des horizons de gestion  $T_{Gi}$  avec  $i$  indexée de 1 à  $n$ , sur lesquels les bilans des décisions passés pourront être réalisés aux regards des objectifs et des réalisations tout en gardant la perspective de la trajectoire avec l'horizon de déroulement de la stratégie avec  $T > T_G$ .

### B. Méthode de résolution de problèmes complexes sélectionnée et technique actuarielle retenue

#### 1) Méthode de résolution de problèmes complexe du management intégré des risques

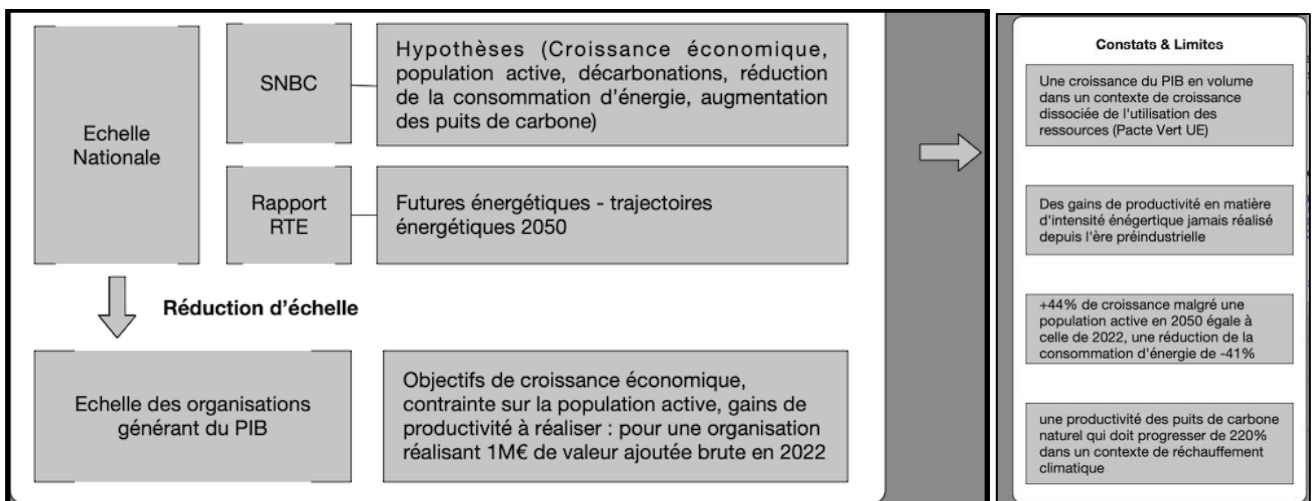
La proposition, évoquée dans l'introduction, est d'utiliser les processus de prise de décision dans le domaine de la gestion (Simon, 1977, p39). C'est ce modèle qui a été retenu dans les années 90 par le management intégré des risques en tant que modèle de résolution de problèmes complexes. L'application est ici à la gestion et plus précisément à la gestion intégrée des risques considérée comme un problème complexe à résoudre par les entreprises. La prise de décision (*decision making*) ne concerne pas uniquement le moment où le(s) décideur(s) opère(nt) un choix mais comporte quatre phases.

En substance, pour nous guider dans nos travaux, la phase d'anticipation où **intelligence** (*intelligence activity*) précède celles, de **conception** (*design activity*) des différents modes d'actions possibles, de choix à proprement parler (*choice activity*) ou de **sélection** d'un mode d'actions particulier et enfin de **bilan** des décisions (*review activity*) (Simon, 1977). La phase bilan en elle-même ne retient pas uniquement des décisions d'actions mais aussi des décisions de réflexion, de recherche d'informations supplémentaires (ce qui conduit à reconsidérer respectivement les phases précédentes) voire de re-finalisation (Le Moigne, 1990). D'une façon générale, cette phase revient à reconsidérer l'ensemble des choix passés. L'article (Claude, 2019) avait proposé l'opportunité de pouvoir aussi inclure cette phase de bilan avant la phase d'intelligence. En matière de maîtrise des risques industriels cette phase est communément appelée le Retour d'Expérience (REX). Le REX concerne historiquement celui sur les accidents majeurs (Three Mile Island aux États-Unis en 1979, la navette spatiale Challenger en 1986) et il est destiné à enrichir la liste des facteurs de risque dans les analyses de risques ainsi que les actions de traitement des risques (prévention ou protection).

Dans le modèle de H.A Simon, chaque phase d'une prise de décision donnée est elle-même un processus systématique et itératif qui peut contenir les quatre phases comme des engrenages d'engrenages ou des poupées russes (Simon, 1973). Dans cette communication, nous nous interrogeons uniquement sur le bilan des décisions passées, à l'échelle de l'entreprise, avec en perspective le livrable d'une phase anticipation qui est de *rechercher dans l'environnement des conditions appelant à des décisions*.

Notre démarche pour réaliser l'objectif de rechercher dans l'environnement des conditions appelant à des décisions peut être résumée avec le synoptique ci-dessous.

Fig. 2. Synoptique de la démarche de descente d'échelle



## 2) Technique d'actuariat industriel

Sans perte de généralité, l'actuariat est une discipline des mathématiques appliquées qui intègre le risque et le temps dans les calculs économique, comptable et financier. Les actuaires sont formés en droit, économie et comptabilité et un actuaire est traditionnellement vu comme un expert de la modélisation, de l'évaluation et de la gestion des risques. L'actuariat est traditionnellement utilisé dans l'assurance et la réassurance de façon à pouvoir intégrer les risques encourus dans le cadre des activités aux échelles d'un contrat, d'un portefeuille de contrats, d'une activité et à celle de la compagnie dans son ensemble. Compte tenu d'une part, que le secteur de la construction est traditionnellement le secteur économique français dans lequel on trouve le plus de dépôt de bilan (qui est un fait unique en Europe) et d'autre part, du besoin d'acteurs de ce secteur, confrontés à des risques longs, de réconcilier avec davantage de fiabilité les attentes technique, économique et financière avec les objectifs comptables, la plateforme technologique de l'Institut de Recherche de l'ESTP « Architecture du Risque et Management des Décisions » (Équipe N°5) a pu transférer à des sociétés non financières, malgré la différence de normes comptables, des techniques, méthodes et outils issus de l'actuariat. Compte tenu de la spécificité des entreprises non-financières et principalement industrielle le terme d'actuariat industriel a été choisi (Claude, 2020).

Pour notre problématique, les taux composés permettent d'appliquer des taux, traditionnellement à des flux financiers, non directement comparables et pouvant porter sur des durées différentes. Compte tenu de la diversité des flux et des périodes à envisager, cette technique, en tant que processus qui doit nous permettre d'attendre un objectif particulier, nous a paru adapté. Dans la mesure où nous parvenons, connaissant une valeur finale  $V_f$  et une valeur initiale  $V_0$ , le taux  $\rho$  est donné par l'équation (1) suivante :

$$\rho = \left(\frac{V_f}{V_0}\right)^{\left(\frac{1}{\alpha}\right)} - 1 \quad (1)$$

avec  $\alpha$  qui correspond au nombre de périodes indicées de 0 à n.

Des cas pourront se présenter où, par exemple pour le PIB, nous connaissons la valeur initiale  $V_0$  ainsi que le taux, mais pas les différentes valeurs intermédiaires sur notre ensemble de dates ainsi que la valeur finale. Les différentes valeurs intermédiaires pourront être obtenues avec  $V_f$  comme valeur finale pour chaque période. Le calcul est obtenu avec l'équation (2) suivante :

$$V_f = V_0 \cdot (1 + \rho)^{(\alpha)} \quad (2)$$

Le choix de cette technique repose aussi sur le fait d'établir des "projections" au sens défini dans le glossaire du GIEC (GIEC, 2018). "Une évolution future possible d'une grandeur ou d'un ensemble de grandeurs, souvent estimées à l'aide d'un modèle. Les projections se distinguent des prévisions en ce sens qu'elles reposent sur des hypothèses concernant, par exemple, des évolutions **socio-économiques** et **technologiques**, qui peuvent ou non se réaliser". Notre étude s'inscrit bien dans ce cadre avec un modèle qui *in fine* supposera que les relations entre les hypothèses et les objectifs respecteront une règle de proportion aux niveau national et entre ce niveau et celui d'une organisation produisant de la valeur ajoutée. Notre exercice attendu de descente d'échelle du niveau macro-économique national au niveau micro-économique d'une organisation. L'étude concerne aussi un cadre socio-économique et socio-environnemental (ces deux cadres sont aussi définis dans le glossaire du GIEC). Enfin, pour la technologie, la SNBC 2 précise que son scénario de référence : "repose sur un recours à des technologies principalement existantes et dans une mesure limitée et raisonnable à des technologies très innovantes. Elle considère des potentiels de décarbonation des différents secteurs de l'économie ambitieux mais réalistes" (MTE, 2020, p17).

Nous précisons qu'ici qu'il n'y a aucune tentative ici d'associer les calculs à des travaux d'économie comportementale

Une fois doté d'une méthode et d'une technique, réalisons la première phase de la méthode : l'analyse des choix passés. Le propos est de se placer du point de vue d'une organisation et non de celui du gouvernement.

### 3) Analyse des conséquences des décisions passées

Pour tester l'hypothèse principale de la SNBC il serait possible de projeter l'évolution du PIB de la France sur une longue période et d'observer son comportement. Dans la mesure où notre choix pour cette étude est de se placer du point de vue d'une organisation nous avons sélectionné les données concernant uniquement les sociétés non financières (SNF). L'Insee donne la définition suivante des SNF : "Ensemble des unités institutionnelles qui sont des producteurs marchands dont la fonction principale consiste à produire des biens et des services non financiers, et dont les opérations de répartition et les opérations financières sont séparées de celles de leurs propriétaires" (Insee, 2024a). Elles constituent l'essentiel du système productif et se répartissent en deux catégories : 1. celles qui ont une personnalité juridique propre (SA, SAS, SARL), coopératives, sociétés de personnes, établissements publics industriels et commerciaux (EPIC), les associations sans but lucratif, les holdings,...et qui dispose d'une comptabilité distincte de celle de leur propriétaire. 2. les entreprises individuelles dont la personnalité juridique n'est pas différente de celle de leur propriétaire.

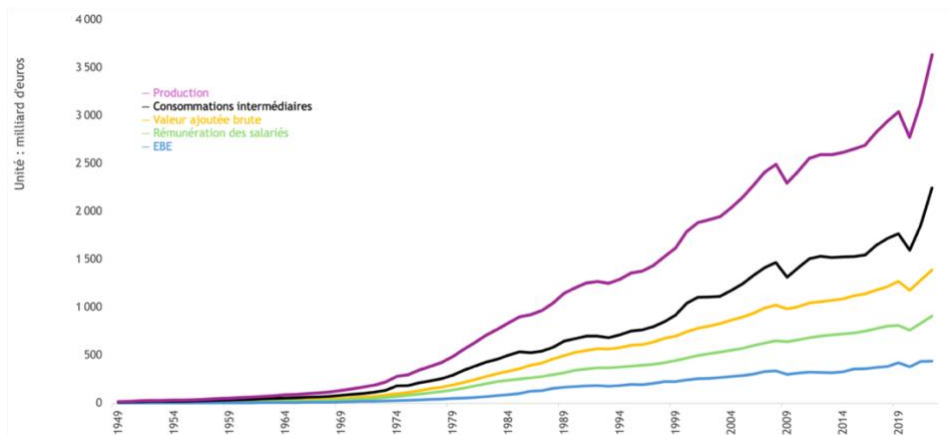
Comment restituer le PIB de la France à l'échelle d'une SNF ? Pour une entreprise, la valeur ajoutée se calcule en retirant les consommations intermédiaires au chiffre d'affaires (Table I). À l'échelle d'une économie, comme celle de la France, le calcul du PIB peut être réalisé selon différentes approches : par les revenus, par la demande ou encore par la production. C'est cette dernière approche que nous retiendrons. Dans ce cadre, la provenance de la richesse se cumule par type d'acteurs économiques (privés, publics, associations), par secteur d'activités et se calcule comme la somme des valeurs ajoutées brutes des secteurs public et privé. La (Table I) restitue son calcul pour une SNF avec un exemple anonymisé.

TABLE I. CALCUL DE LA VALEUR AJOUTEE D'UNE SNF A PARTIR DES SOLDES INTERMEDIAIRES DE GESTION

<b>RUBRIQUES</b>	
CA Net	<b>20 129</b>
Ventes de marchandises	19 924
- Coût direct	-15 334
+/- variations de stocks	300
<b>MARGE COMMERCIALE (I)</b>	<b>4 290</b>
+ Production vendue	205
+ Production stockée	
+ production immobilisée	
<b>PRODUCTION DE L'EXERCICE</b>	<b>205</b>
- Matières premières et appro. Consommés	-50
- Sous-traitance directe	-100
<b>MARGE BRUTE SUR PRODUCTION (II)</b>	<b>55</b>
<b>MARGE BRUTE GLOBALE (I + II)</b>	<b>4 345</b>
- Services extérieurs et autres charges externes	-1 788
<b>VALEUR AJOUTEE PRODUITE</b>	<b>2 557</b>
Subventions d'exploitation	
Impôts et taxes	-146
Salaires du personnel	-1 788
Charges sociales du personnel	-579
Excédent Brut d'Exploitation (EBE)	44

La Figure 3 ci-dessous restitue la valeur ajoutée brute (VAB) réalisée de 1949 à 2022 à l'échelle agrégée des SNF ainsi que les postes "salaires du personnel" et "charges sociales du personnel" (agrégé en "rémunération du personnel") ainsi que les "consommations intermédiaires" et "l'Excédent Brut d'exploitation" de la Table I (Insee, 2024b).

Fig. 3. Valeur ajoutée, rémunération du personnel et EBE des sociétés non-financières depuis 1949



Visuellement nous constatons aisément une tendance lourde à la croissance de la production et des consommations intermédiaires. On remarque une accélération (pente de la courbe) dans les années 70, une baisse avec les impacts de la crise financière de 2008, l'effet de la pandémie de Covid-19 en 2020 et une accélération depuis le plus bas de 2020 sans précédent. Ce phénomène identifiable de "croissance" est aussi valable pour la VAB, la rémunération du personnel et dans une moindre mesure de l'EBE.

Ainsi, à la seule lecture de cette indicateur, l'hypothèse de la croissance du PIB de la part du gouvernement est crédible. De plus, c'est à partir de ce mécanisme que les États peuvent redistribuer après collecte des impôts et taxes une partie de la richesse créée. Néanmoins, du point de vue de l'entreprise, la croissance continue de sa valeur ajoutée va-t-elle être considérée comme une hypothèse ou un objectif ?

En règle générale, pour les entreprises qu'elles fassent appel aux marchés financiers pour se financer ou pas, les prévisions, sont principalement à la hausse et, si elles sont à la baisse, cela n'est généralement pas très apprécié. Les compagnies d'assurance pour financer les risques assurables et les banques pour financer le haut, le bas de bilan ou les risques financiers regardent avec attention la croissance et aussi la rentabilité de leur prospects et clients. Le financement des entreprises non rentables mais à croissance forte est toléré dans le cadre de l'attente d'une profitabilité ultérieure. Ainsi, il est d'autant plus apprécié par les différentes parties prenantes intégrées à la gouvernance interne et externe de l'entreprise que cette croissance soit profitable.

Pour une entreprise, la croissance de sa valeur ajoutée serait donc davantage un objectif qu'une hypothèse. Le terme consacré d'ailleurs depuis les années 80, notamment pour les entreprises cotées, n'est-il pas d'ailleurs de résumer cette approche par une *stratégie de croissance rentable*. La figure 3 est une illustration en ce sens des effets des décisions et des comportements résultant des différentes stratégies des SNF.

L'étude se poursuit par l'identification du profil des trajectoires et des taux annuels sur les différents indicateurs macroéconomiques (population, PIB) ainsi que sur les objectifs. Une analyse des connaissances existantes a été nécessaire pour compléter un état de l'art parfois insuffisant pour résoudre notre problématique.

### III. ANALYSE DES CONNAISSANCES POUR ETABLIR LES PROFILS DES TRAJECTOIRES

À la suite du paragraphe I. C. 1) ci-dessus qui reprend les grandes hypothèses de la SNBC les données concernant les prix de l'énergie étant acquis nous établissons les profils sur les hypothèses de population et le PIB. Pour les objectifs nous retenons les objectifs 1 à 4 du paragraphe I. B). nous recherchons aussi avec l'étude des profils les valeurs initiales et les valeurs finales pour notre calcul ultérieur des taux annuels.

#### A. Profil de l'hypothèse de trajectoire démographique

En ce qui concerne les données de la population française les données du Citepa correspondent à l'unité près à celle du rapport de l'Insee cité en I. C. 1). sur la période (Algava & Blanpain, 2021). Comme pour la SNBC un scénario central a été retenu avec notamment les trois éléments qui conditionnent l'évolution de la population : la fécondité, l'espérance de vie (ou mortalité) la migration. La Table II. ci-dessous restitue ces hypothèses. L'historique remonte à 1962 et les projections vont de 2021 à 2070 (une partie est projetée à horizon 2121).

Même si la SNBC-2 ne tient pas compte d'informations relatives à la population active, du point de vue des entreprises, cette donnée peut rentrer dans une phase destinée à rechercher dans l'environnement des conditions appelant à des décisions. Pour l'Insee, la population active regroupe les personnes en emploi et au chômage. Les chiffres publiés peuvent être au sens du Bureau international de Travail (BIT), du recensement de la population ou encore de la comptabilité nationale. L'Insee a publié une étude



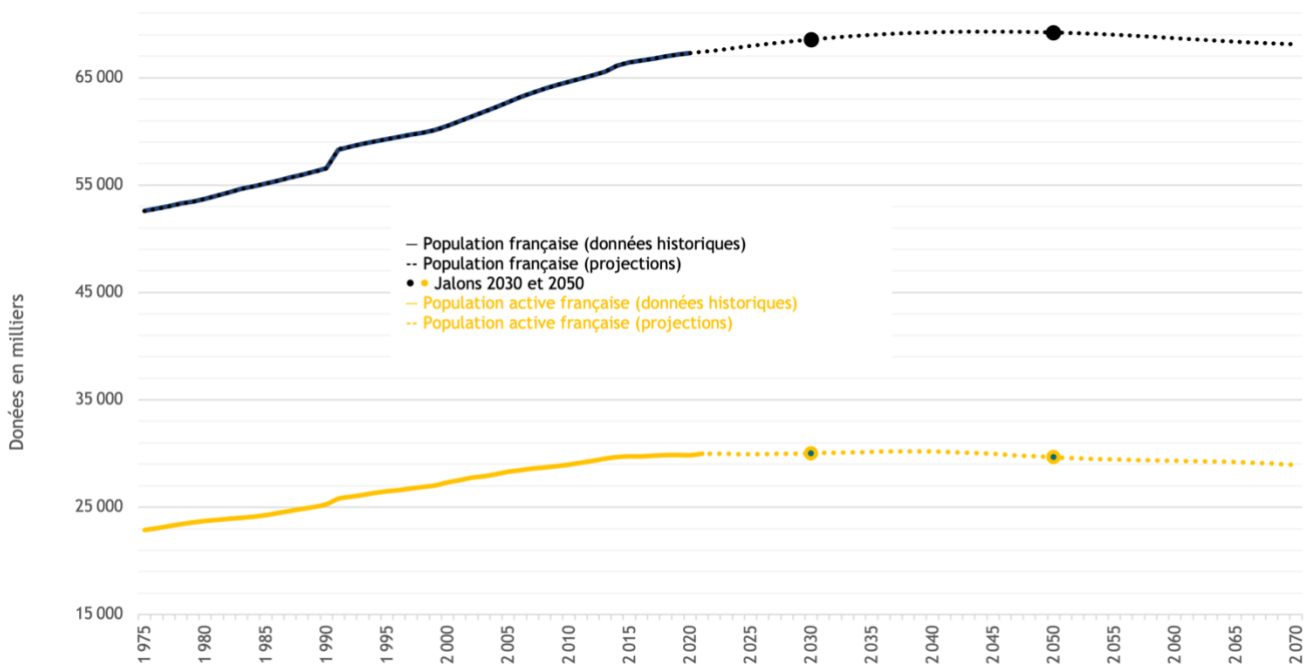
sur la population active (Bechini, N. et al, 2022) sur la base des travaux publiés par Algava, E et Blanpain, N. et de travaux complémentaires. Pour cette étude son historique commence à 1975 et il est projeté à horizon 2080.

TABLE II. HYPOTHESES POUR LA TRAJECTOIRE DEMOGRAPHIQUE

		Hypothèses			
		Centrale	Basse	Haute	de travail
Fécondité	Indice conjoncturel de fécondité	1,80 à partir de 2023	1,60 à partir de 2030	2,00 à partir de 2030	1,50 à partir de 2030
	Âge moyen à la maternité	en hausse jusqu'à 33,0 ans en 2052 stable ensuite			
Espérance de vie	Espérance de vie à la naissance des femmes	90,0 ans en 2070, 94,2 ans en 2120	86,5 ans en 2070, 88,2 ans en 2120	93,5 ans en 2070, 100,8 ans en 2120	Constante (égale à 2019)
	Espérance de vie à la naissance des hommes	87,5 ans en 2070, 92,5 ans en 2120	84,0 ans en 2070, 86,9 ans en 2120	91,0 ans en 2070, 98,8 en 2120	Constante (égale à 2019)
Migration	Valeur du solde migratoire	+ 70 000 par an sur toute la période	+ 20 000 par an sur toute la période	+ 120 000 par an sur toute la période	solde migratoire nul à tous les âges

Sur ces hypothèses et l'étude concernant la population active, la Figure 3 restitue les nouvelles projections de population de la France pour la période 2021-2070 (France métropolitaine + 5 DOM), avec le scénario "central", qui est l'hypothèse en termes de démographie de la SNBC. La population augmenterait jusqu'en 2044 jusqu'à 69,3 M d'habitants pour diminuer ensuite et s'établir, au 1<sup>er</sup> janvier 2070, à 68,1 M d'habitants soit 0,7 M de plus qu'en 2021.

Fig. 4. Données historiques et projection de la population et population active française de 1975 à 2070



En ce qui concerne la population active (PA) elle devrait progresser durant deux décennies mais comme l'illustre la Figure 3 à un rythme plus lent : "+20 000 actifs par an en moyenne jusqu'à 2040 contre +90 000 actifs par an en moyenne entre 2011 et 2021". En raison du vieillissement de la population jusqu'en 2040 quasi certaine et de la baisse du taux d'activité engendré, le pic de PA est attendu à 30,5 millions (M) en 2040 avant de décroître jusqu'à 28,3 M à l'horizon projeté de 2080.

#### B. Profil de l'hypothèse de trajectoire du PIB

Nous ne retenons pas pour la définition du profil de la trajectoire du PIB national les données du Citepa. Pourtant, les données d'émissions de GES et de polluants atmosphériques au format Secten sont les données officielles et elles sont élaborées par le Citepa dans le cadre du Système National d'Inventaires d'Émission et de Bilans pour l'Atmosphère (SNIEBA). Les données disponibles sur le site du Citepa (Citepa, 2024) pour le suivi des indicateurs (population, PIB) dans l'onglet "Indicateurs", pour le PIB, sont au périmètre Métropole et Métropole + Outre-Mer UE. Les données concernant la population sont conformes à celle de l'Insee. Le PIB 2022 n'est pas renseigné et le PIB 2021 mentionne 2 458 Milliards d'euros (Md€). De façon à prendre comme point initial 1990, base des calculs des GES de la SNBC, en 1990, le PIB communiqué par le Citepa est inférieur de 429 Md€ à

celui de l’Insee (Insee, 2024c) qui donne l’évolution en pourcentage, les niveaux annuels de 1950 à 2022 ainsi que les contributions en points. Après vérification, nous retrouvons avec les chiffres de l’Insee ceux communiqués par le gouvernement ainsi que par la Banque Centrale Européenne jusqu’à la période pré-covid. Nous retiendrons cette référence, néanmoins ce point reste à éclaircir avec le Citepa. Compte tenu de la valeur initiale en 2022, les données 2023 et 2050 sont obtenues grâce à l’équation (2) et aux TCAM prévu de 1,3% par an.

TABLE III. DONNEES CLES DE LA TRAJECTOIRE DU PIB (BASE 1990 ET ESTIMATIONS 2030 ET 2050)

Années	1990	2022	2030	2050
PIB (Md€)	1 480	2 351	2 607	3 376

Le profil complet de la trajectoire du PIB à horizon 2050 est ci-dessous Figure 5.

### C. Profil de l’objectif de trajectoire de la consommation d’énergie finale

La consommation d’énergie finale est définie dans le document édité par le Service des Données et Études Statistiques (SDS) comme la somme de la consommation finale énergétique et de la consommation finale non énergétique (SDS, 2021). Chaque année des études très complètes sont publiées.

RTE a publié en février 2022 un rapport complet de près de 1 000 pages intitulé “*Futurs Énergétiques 2050*” (RTE, 2022). L’étude retranscrit les objectifs de la SNBC en termes d’énergie avec les objectifs 2030 et 2050 ainsi qu’avec les jalons intermédiaires. L’enjeu, comme le montre la Figure 1 ci-dessus, est donc “d’une part, de réduire considérablement les émissions brutes et de les rapprocher le plus possible de zéro” (le point orange sur le graphique à 80MtCO<sub>2e</sub>) et “d’autres part, de développer les puits de carbone pour parvenir *a minima* à compenser les émissions marginales” (le point vert sur la Figure 1 à -80 MtCO<sub>2e</sub>).

Plusieurs scénarii ont été élaborés. Le scénario de référence de RTE retient pour 2050 une population de 69 M d’habitants (69,2 M dans notre projection Figure 4), un PIB de 3 380 Md€ (3 376 Mds€ dans notre projection Table III) ainsi qu’une part de la VAB de l’industrie manufacturière dans le PIB de 10%.

Sans perte de généralité, ce rapport explique comment réaliser l’objectif 1 “décarboner complètement la production d’énergie à l’horizon 2050” par la réalisation des objectifs (intermédiaires) 2 et 3 de la SNBC qui sont respectivement :

- de réduire de moitié des consommations d’énergie dans tous les secteurs d’activité, en développant des équipements plus performants et en adoptant des modes de vie plus sobres et circulaires;
- de réduire au maximum les émissions non énergétiques, issues très majoritairement du secteur agricole et des procédés industriels.

Pour définir les grandes orientations pour l’énergie en termes de croissance du PIB et de réduction des émissions de GES ce qui a dû être complexe, le diagnostic, en revanche, est relativement simple. En prenant comme base l’année 2020, la consommation d’énergie finale a été de 1 600 térawattheures (TWh). 60% de cette consommation concerne des énergies fossiles principales émettrices de GES : le pétrole principalement pour être utilisé dans les transports, le gaz fossile principalement pour être utilisé à produire de la chaleur dans les bâtiments et l’industrie et enfin le charbon pour la production d’électricité, la production d’acier et les cimenteries. La cible de consommation pour 2050 est 930 TWh soit une baisse programmée de -42%. La Table IV ci-dessous donne l’évolution d’énergie finale base 2020 et projections SNBC (RTE, 2022).

TABLE IV. DONNEES CLES DE LA TRAJECTOIRE DE LA CONSOMMATION D’ENERGIE FINALE EN FRANCE (BASE 2020 ET PROJECTIONS 2030 ET 2050)

Données en TWh	2020	2035	Δ % 2035 / 2020	2050	Δ % 2050 / 2020
Électricité	433	460	6%	531	23%
Gaz (dont gaz décarboné)	324	233	-28%	119	-63%
Pétrole	607	294	-52%	13	-98%
Charbon	14	0	-100%	0	-100%
Bois, biocarburants, déchets, chaleur	215	272	26%	270	26%
<b>Total</b>	<b>1 592</b>	<b>1 259</b>	<b>-21%</b>	<b>933</b>	<b>-41%</b>

Les données par année de la Table IV sont en TWh. Le térawattheure est une unité de mesure d’énergie (travail) correspondant à 10<sup>12</sup> wattheures. Le charbon disparaît dans la consommation finale, le pétrole (historiquement la principale source d’énergie de la France) est maintenu à un niveau résiduel et enfin le solde de 119 TWh de gaz est totalement décarboné. Le fait marquant est que l’électricité devient l’énergie dominante de ce nouveau mix énergétique. De plus, les scénarii de neutralité carbone sont aussi des scénarii d’opportunités d’indépendance énergétique modulo certaines importation (combustible nucléaire, terres rares, métaux, panneaux solaires). En effet, cette indépendance contribue à la souveraineté énergétique de la France. La Table V ci-dessous donne néanmoins les efforts de réduction de GES à réaliser pour voir survenir cette opportunité.

TABLE V. DONNEES CLES DE LA TRAJECTOIRE DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE FINALE EN FRANCE (BASE 2020 ET PROJECTIONS 2030 ET 2050)

Secteurs / Périodes	Objectif 2035 MtCO <sub>2e</sub>	2030 / 2015 Écart	2050 / 2015 Écart	Objectif 2050 MtCO <sub>2e</sub>
<b>Transport</b>	99	-28%	Décarbonation complète	4
<b>Bâtiments</b>	45	-49%	Décarbonation complète	5
<b>Agriculture</b>	73	-18%	-46%	48
<b>Industrie</b>	53	-35%	-81%	16
<b>Energie</b>	31	-33%	Décarbonation complète	2
<b>Déchets</b>	11	-37%	-66%	6

Pour la SNBC-2 les données de 2015 sont issues de l'inventaire Citepa Secten 2018. L'objectif 2050 est bien de 80 MtCO<sub>2e</sub>.

Néanmoins, des chiffres clés de l'énergie 2023 (SDES, 2023), à partir de la consommation d'énergie primaire (2 544 TWh en 2022) en réalisant un focus sur la seule énergie finale énergétique de 1 588 TWh en 2022, c.-à-d. en excluant l'énergie finale non-énergétique et les pertes de transformation, de transport et de distribution, respectivement de 125 TWh et de 831 TWh en 2022, et en sélectionnant les secteurs clés identifiés en I. D) les projections en termes d'attentes de réduction de la consommation d'énergie en TWh sont mentionnées dans la Table VI ci-dessous.

TABLE VI. EVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE FINALE

Secteurs / Périodes	2022 En TWh	2050 En TWh	2050 / 2022 Écart
<b>Transport</b>	517	99	-81%
<b>Bâtiments</b>	686	248	-64%
<b>Agriculture</b>	49	8	-84%
<b>Industrie</b>	281	180	-36%
<b>Total des secteurs</b>	<b>1 532</b>	<b>534</b>	<b>-65%</b>

Les données de la Table VI pour 2023 sont issues de (SDES, 2023) pour 2022 et de (RTE, 2022) pour la projection en 2050 du scénario de « référence ». L'évolution de la consommation d'ici 2050 dépend de deux composantes : (1) une maîtrise de la consommation d'énergie d'ici 2050 (-41% Cf. Table IV) grâce à l'efficacité énergétique et la sobriété (2) des transferts d'usage notamment par le développement de l'électricité et de l'hydrogène bas-carbone. Dans la trajectoire de référence l'effet « efficacité énergétique » est estimé à -200TWh et en sus, un effet « sobriété » pourrait être à l'origine de -90TWh sur la consommation d'électricité à horizon 2050.

#### D. Profil de l'objectif de trajectoire des puits de carbone

L'*Institute for Climate Economics* (I4CE) a publié en 2022 une étude questionnant le réalisme de l'ambition de la France dans le domaine des puits de carbone (I4CE, 2022). L'étude explore aussi bien sur le secteur forêt-bois que l'agriculture ainsi que le Captage et le Stockage Géologique du CO<sub>2</sub> (CSC). Il ressort que « les transformations attendues des secteurs sont profondes et que certaines orientations du secteur forêt-bois risquent de ne pas être réalisables ». Le terme de « financement » est utilisé une fois dans le rapport concernant les CSC. Pour le reste, il est difficile d'identifier qu'elle est l'autorité en charge de la coordination de l'atteinte des objectifs en matière d'UTCATF et ni des ressources dont elle dispose pour y parvenir. Nous gardons la référence du Citepa pour notre étude concernant les UTCATF. Pour le Citepa, le périmètre « Métropole » correspond aux départements de la France métropolitaine sur le territoire européen dont la Corse. Les outre-mer inclus dans l'UE sont Guadeloupe, Martinique, La Réunion, Guyane, Mayotte, Saint-Martin (partie française). Enfin, l'Outre-mer hors UE (non inclus dans les fichiers Secten) concerne Nouvelle-Calédonie, Saint-Pierre et Miquelon, Wallis et Futuna, Saint-Barthélemy, Polynésie Française, T.A.A.F.

Un point de divergence existe entre le rapport et les données du Citepa 2022. En 2022, le rapport mentionne que l'objectif de -80MtCO<sub>2e</sub> nécessite un doublement du volume d'absorption à horizon 2050. Or, en 2021, les émissions ont été (au périmètre métropole) de -22 MtCO<sub>2e</sub>. Pour réaliser l'objectif, en conséquence c'est davantage un facteur 4 que 2. Néanmoins, précisons que les données de la SNBC se basait sur l'inventaire de 2018 et qu'entre temps les méthodes ont progressé. De plus, après précisions demandées aux Citepa, la SNBC tient compte dans les -80 MtCO<sub>2e</sub> (-82 pour être précis) de la contribution des CSC pour 15 MtCO<sub>2e</sub> (MTE, 2020, page 21).

### E. Profil des trajectoires des prix de l'énergie et du carbone

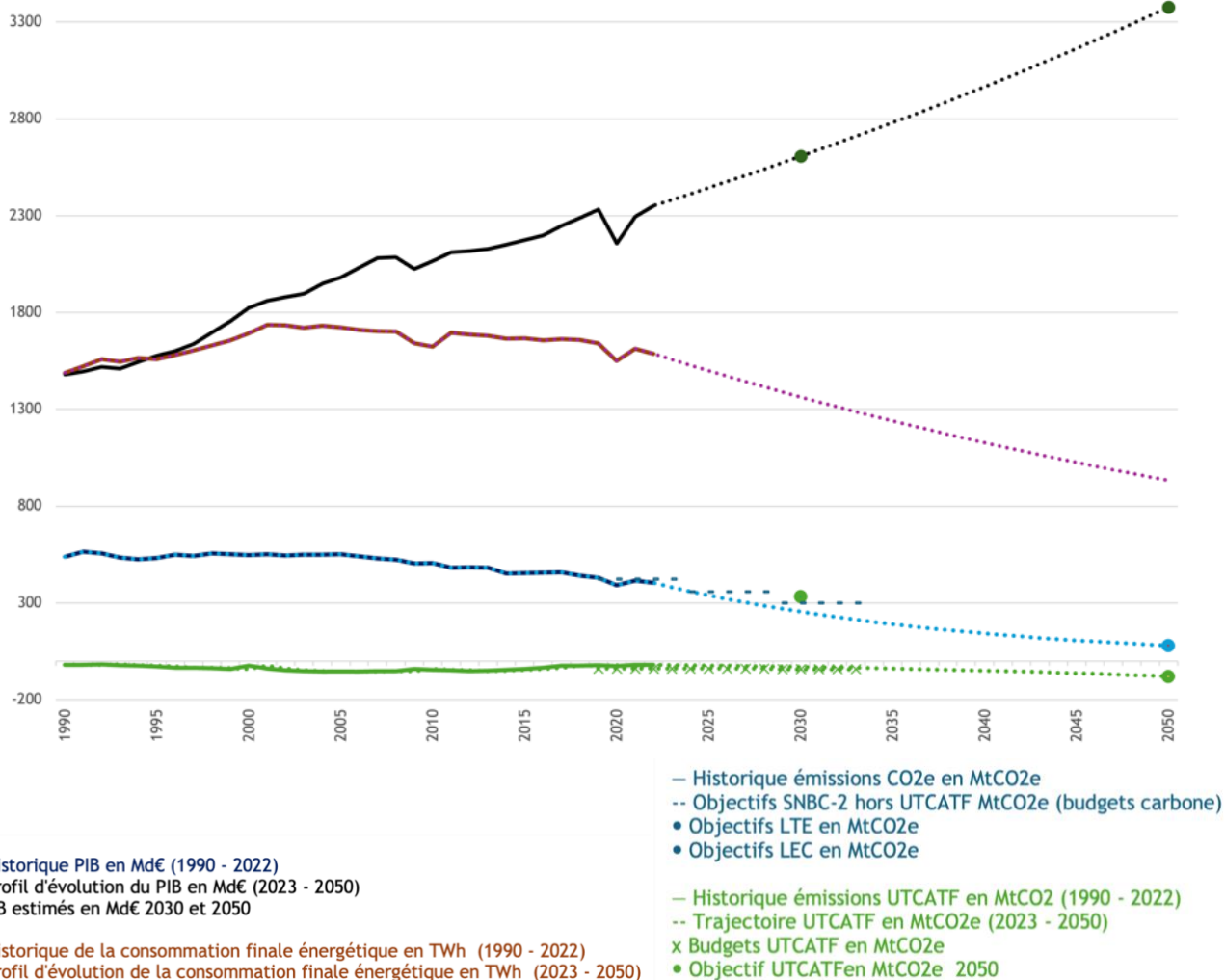
La SNBC fournit des informations sur le sujet. Les différents rapports annuels de la SDES sont aussi très complets dans le domaine. Néanmoins, pour cet article, nous ne restituons pas les analyses concernant ces prix et leurs trajectoires. Toutefois, si les données des Tables IV, V et VI sont exprimées en volume (TWh ou CO<sub>2</sub>e) la dépendance à la fluctuations des prix des énergies carbonées est considérablement réduite en suivant la stratégie SNBC. De plus, la « décarbonation » aura des effets positifs sur la balance commerciale compte tenu de la réduction des importations d'énergie carbonée. En 2022, l'énergie pèse pour 116 Mds€ dans le déficit commercial de la France. A titre de comparaison, en 2022, selon une note de Direction de l'évaluation de la prospective et de la performance du ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse (DEPP, 2023), les dépenses en matière de dépenses intérieures d'éducation (DIE) totalisaient 173,2 Mds€ : État (100,3 Mds€), collectivités territoriales (40,9 Mds€), ménages (14 Md€) et entreprises (17,9 Mds€).

En l'état des travaux nous disposons désormais des informations nécessaires et suffisantes pour projeter à partir des réalisations passées, les hypothèses et les objectifs de la SNBC et d'en inférer les taux annuels (de croissance où de décroissance).

### IV. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

La Figure 5 ci-dessous restitue les profils des trajectoires sur les hypothèses et objectifs de la SNBC.

Fig. 5. Historique et trajectoires des hypothèses et des objectifs de la SNBC



L'hypothèse principale de découplage entre la croissance (mesurée par le PIB en volume) et la consommation finale énergétique se matérialise de façon très concrète avec la présentation, dans la Figure 5, de l'historique et des trajectoires des hypothèses et objectifs de la SNBC. L'intensité énergétique vue comme le rapport ici entre la consommation finale énergétique (en kWh) et le PIB (en €) est devenu inférieur à 1 à partir de 1995.

En finance on utilise le terme de “*spread*” pour désigner un écart. Ce terme est utilisé notamment pour définir l’écart entre deux taux ou deux courbes de taux. Ici, le fait majeur est que le *spread* entre le PIB et la consommation finale énergétique ne fait que s’accroître de façon continue sur la période 2022 – 2050.

*A. Valeur initiales, finales et taux de croissance où décroissance par année et sur la période*

La Table VII. en annexe renseigne pour la population, la population active, le CO<sub>2e</sub>, le PIB la consommation d’énergie finale et les UTCATF :

- colonne (a), (b), (c) et (d) respectivement les données pour les années 1990, 2022, 2030 et 2050 ;
- colonne (e), (f) et (g) respectivement les variations en pourcentage pour les périodes 2022/1990, 2050/1990 et 2050/2022 ;
- colonne (h) et (g) respectivement les taux de 1990-2050 (60 périodes) et 2022-2050 (28 périodes) et
- les facteurs de réduction ou de croissance sur la période 1990/2050.

Pour la population active, elle progresse sur la période 1990-2050 mais elle sera à peu près du même niveau en 2050 qu’en 2022. Pour le CO<sub>2e</sub>, le facteur 4 est désormais, depuis 2015, un facteur 6,7 par rapport à 1990 et pour l’énergie de 1,6 de 1990-2050. Pour les deux, les taux sont négatifs. Pour l’énergie, à l’échéance en 2050, si la stratégie fonctionne, la France consommera ce qu’elle consommait à la fin des années 60. Le PIB à cette période était de l’ordre de 800 Mds d’euros soit quatre fois moins que la cible en 2050 qui est de 3 376 mds€. Pour les UTCATF, c’est un facteur 4 qui est attendu et corrigé des CSC, il est de l’ordre d’un facteur 3.

Les taux annuels pour toute la période et pour tous les objectifs et hypothèses ne sont pas communiqués dans l’article.. Par exemple, sur les émissions de GES et la consommation d’énergie, de 2022 à 2050, chaque année les quantités doivent être réduites de 5,6% et de 1,8%, par an, et ce, pendant 28 ans. Pour le PIB et les UTCATF, les quantités doivent être augmentées respectivement de 1,3% et de 5%, par an, pendant 28 ans. Un des avantages de l’approche étant que les écarts par rapport aux taux prévus pourront s’exprimer en points de base ce qui est une pratique courante dans le langage économique et financier dans les organisations (un point de base désigne un centième de pourcent, c.-a-d. 0,01%).

Dans la Table VII. les années sur lesquelles sont basés les hypothèses et objectifs de la SNBC sont grisées. Ainsi, en fonction de l’état actuel par rapport aux objectifs de la SNBC, l’organisation peut facilement se situer en prenant, comme première approximation, sa situation en 1990 pour les GES, 2022 pour les UCTATF ainsi que pour sa consommation d’énergie et reconstituer ainsi ses projections de trajectoires en conséquence. Nous pouvons dès lors, associer pour une organisation selon la terminologie des microéconomistes pour englober à la fois les services rendus par les différents facteurs de production ainsi que les biens intermédiaires d’une part, pour les outputs, les objectifs (croissance de la valeur ajoutée et croissance des UTCATF) et d’autre part, pour les inputs, les gains de productivité (valeur ajoutée produite en euros / réductions des émissions de GES en tCO<sub>2e</sub> et valeur ajoutée produite en euros / réduction de la consommation d’énergie en kWh ). Ce point était un des objectifs de l’étude.

*B. Hypothèses et objectifs de la SNBC à l’échelle d’une organisation*

Nous avons réalisé l’hypothèse que, si nous parvenions à établir les profils de trajectoires des différentes hypothèses de la SNBC ainsi que de ses objectifs au niveau national en continuité avec les trajectoires historiques alors, pour une unité de 1 million d’euros de valeur ajoutée brute produite par une organisation, il serait possible de retranscrire ces hypothèses et objectifs nationaux à son échelle. À partir des données de la Table VII nous avons pu réaliser ce travail et vérifier l’hypothèse de notre recherche.

Dans un premier temps la Table VIII. transforme les unités pour la stratégie nationale en unités plus pertinentes et davantage appropriables pour une organisation. Le travail a donc consisté à normaliser les données de la population, la population active, les GES, l’énergie finale et les UTCATF, très simplement sur la base d’une règle de trois faisant correspondre initialement la contribution de la VAB d’une entreprise de 1 M d’euros au PIB national.

Pour les UTCATF, puisque nous connaissons les émissions négatives attendues par les CSC et que ces technologies ne vont probablement concerner que quelques entreprises, dans la Table VIII ci-dessous, nous avons retranché les 15 MtCO<sub>2e</sub> attendues des CSC du total de -80 MtCO<sub>2e</sub>. En conséquence pour la colonne (c) l’objectifs de -65 MtCO<sub>2e</sub> ne concerne que les puits de carbone naturels.

TABLE VII. CHANGEMENT DES UNITES DES HYPOTHESES ET OBJECTIFS ET RESTITUTION POUR UNE ORGANISATION

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	2022	2022	2050	2050	2050	2050 / 2022
Population totale en Nbre habitants	67 515 287	28,7	69 206 324	20,5	29,4	3%
Population active Nbre personnes	29 966 036		29 651 051			-1%
Salariés de l’organisation		12,7		8,8	12,6	-1%
GES en tCO <sub>2e</sub>	403 771 294		80 000 000			-80%

GES pour l'organisation (tCO <sub>2e</sub> )		171,7		23,7	34,0	-80%
PIB en €	2 351 224 000 000		3 375 658 279 514			44%
Valeur ajoutée de l'organisation en €		1 000 000		1 000 000	1 435 703	44%
Energie finale en kW	1 587 908 208 733		933 000 000 000			-41%
Energie de l'organisation en kW		675 353		276 390	396 815	-41%
UTCATF en tCO <sub>2e</sub>	-20 333 322		-65 000 000			220%
UTCATF pour l'organisation (tCO <sub>2e</sub> )		-9		-19	-28	220%

Les résultats en grisé correspondent à ceux pour l'organisation et non grisé pour le niveau national (colonne (f) de 2050/2022. Les pourcentages sont égaux pour le niveau national et l'organisation faisant ressortir la correspondance des ordres de grandeur dans les objectifs.

La colonne (b) donne le résultat pour 2022. Autrement dit, l'organisation qui a réalisé 1 M€ de VAB en 2022 emploie environ 13 personnes, génère 172 tonnes de CO<sub>2e</sub>, consomme 675 000 kWh et devrait contribuer (impôts, taxes, financement direct,...) à ce que les puits de GES naturels absorbent 9 tonnes de CO<sub>2e</sub>.

La colonne (d) donne le résultat toujours pour 1 M€ mais en 2050. En 2050, dans ce nouveau contexte, l'organisation qui réalisera 1 M€ de VAB, devrait employer 9 personnes, générera 24 tonnes de CO<sub>2e</sub>, consommera 276 000 kWh et devrait contribuer pour -19 tCO<sub>2e</sub> aux secteurs UTCATF.

Enfin la colonne (e) projette la VAB d'une organisation en 2050 qui aura suivi l'hypothèse de croissance prévue par la SNBC avec les données associées depuis 2022 pour le PIB, l'énergie et le secteur UTCATF et 1990 pour les émissions de GES. Son nombre de salariés comme pour le niveau national ne progresse pas, sa VAB sera de 1,4 M, elle devrait émettre 34 tCO<sub>2e</sub>, consommer 400 000 kWh et contribuer pour -28 tCO<sub>2e</sub> aux secteurs UTCATF.

Concernant les GES et l'énergie, les deux dimensions sont fortement corrélées dans l'hypothèse d'une électrification forte et on retrouve pour l'énergie, l'ordre de grandeur de -40% publié dans le rapport de RTE. Pour les UTCATF, les chiffres sont relativement importants. Avec comme hypothèse de base de capacité d'absorption de 2 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare d'UTCATF, c'est l'équivalent de 14 terrains de foot de (90 x 120m) pour... 1 M€ de VAB d'une organisation. En revanche, il faut tenir compte du fait que les émissions de GES sont au périmètre « Métropole et Outre-mer inclus dans l'UE » et que les UTCATF sont uniquement au périmètre « Métropole » soit tous les départements de la France métropolitaine sur le territoire européen incluant la Corse. Il sera nécessaire d'actualiser ces données une fois les données du périmètre de l'Outre-mer inclus dans l'UE disponible (Guadeloupe, Martinique, La Réunion, Guyane, Mayotte et la partie française de Saint-Martin). Néanmoins, comme les flux de GES retenus sont uniquement ceux induits par les activités humaines l'apport devrait être limité. Ainsi, en surface équivalente base 2022, la productivité de ces puits carbone naturels devra être améliorée d'un facteur 3. En tenant compte de ce fait, et en ayant retranché la part des CSC, il n'en demeure pas moins que l'objectif est ambitieux et que la capacité des 50 sites industriels ciblés à réaliser leur feuille de route sera déterminante.

### C. Hypothèses et objectifs de la SNBC à l'échelle d'un habitant et d'un actif

La Table IX ci-dessous donne les résultats pour un habitant et un actif en 2022 et en 2050.

TABLE VIII. HYPOTHESES ET OBJECTIFS DE LA SNBC A L'ECHELLE D'UN HABITANT ET D'UN ACTIF

		2 022	2 050	Variation
GES	tCO <sub>2e</sub> par habitant	5,98	1,16	-81%
Energie finale	kW / habitant	23 519	13 481	-43%
PiB	€ par habitant	34 825	48 777	40%
UTCATF par habitant	tCO <sub>2e</sub>	-0,3	-1,2	284%
GES	tCO <sub>2e</sub> par actif	13,47	2,70	-80%
kW / pers.	kW / actif	52 990	31 466	-41%
PiB	€ par actif	78 463	113 846	45%
UTCATF	tCO <sub>2e</sub> par actif	-0,7	-2	223%

Le nombre de 1,2 tCO<sub>2e</sub> par habitant en 2050 diverge de celui du 2 t généralement évoqué. Les 2 tonnes par habitant concernent généralement l'hypothèse de l'empreinte carbone. Un site web propose en 10 minutes un test pour obtenir une estimation de l'empreinte carbone individuelle (NGC, 2024). La SNBC 2 évalue l'empreinte carbone avec un réchauffement

limité a +2°C entre 1,6 et 2,8 t/an et par personne. Les variations, colonne de droite, sont quasi égales entre la table VIII et IX. Cela provient de la règle de proportionnalité de la règle de 3.

## V. DISCUSSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats de cette étude concernent uniquement les organisations qui réalisent de la valeur ajoutée en France. Au regard de l'état de l'art retenu, il permet néanmoins d'aligner une organisation à la SNBC qui s'adresse pour sa mise en œuvre uniquement aux décideurs publics à l'échelle nationale comme territoriale.

Les approches sectorielles peuvent néanmoins permettre des approfondissements. Suite à ces travaux, les auteurs entendent les poursuivre les recherches notamment dans le cadre des Chaires de Recherche et d'Enseignement de l'ESTP – Grande École d'ingénieurs de la construction, dans les domaines du bâtiment (résidentiel et tertiaire) et celui de l'industrie-construction, respectivement avec la Chaire *Sustainable Buildings for the Future (SBF)*, portée par Socotec et la Chaire *Sustainable Dependability*, en cours de configuration.

### A. Comprendre les nouveaux mécanismes de construction de la performance

La contextualisation au niveau d'une organisation du formalisme de la SNBC 2 et possiblement de celles qui suivront en fonction de l'évolution de la situation, devrait nécessiter une clarification des hypothèses et des objectifs ainsi que d'une très bonne compréhension des consommations intermédiaires en termes de GES et de consommation d'énergie. Vu que nous disposons désormais des flux entrants de valeur ajoutée ainsi que des tables de taux zéro coupon, à ce jour jusqu'en 2124 (Institut des actuaires, 2024) il sera possible de déterminer la valeur actuelle nette de la valeur ajoutée à date, de prendre des hypothèses sur les composantes "salaires et traitement", "taux d'imposition", "niveau de résultat net" notamment et d'en inférer des budgets de Capex et d'Opex. Cela permettra d'obtenir une actualisation au taux sans risque et de *pricer* des stratégies d'options d'investissement.

Pour les "salaires et traitement", selon la théorie et en pratique normalement, si les conditions de l'équilibre de concurrence pure et parfaite sont remplies, les productivités marginales du travail ( $Pm_L$ ) et du capital ( $Pm_K$ ) sont égales, à l'équilibre, à leurs rémunérations (salaires et profits réels). L'analyse de la  $Pm_L$  sur une très longue période de deux siècles (Marchand & al., 1990) peut permettre de faire l'hypothèse, notamment après la seconde guerre mondiale, que l'augmentation de la consommation d'énergie ainsi que de la capacité de traitement de l'information permise par le développement de l'informatique ont contribué à l'augmentation fulgurante de la  $Pm_L$ . Plus récemment, l'écart entre la  $Pm_L$  simulée et celle qu'elle soit, par personne, en équivalent temps plein ou horaire marque le pas depuis 2008 (Insee, 2018) et en 2022 elle n'a pas retrouvé ses niveaux de 2019 (Insee, 2022). La Figure 5 illustre que c'est en 1995 que l'intensité énergétique est devenue inférieure à 1. La part utilisée par l'organisation dans la population active est un input pour sa production mais aussi une constituante essentielle de la demande. Dans un contexte où les gains de performance et de productivité à réaliser par l'organisation sont avec une hypothèse de population active constante (solde migratoire compris) ce point nous paraît être significatif pour être pris en compte dans les perspectives.

La Table X ci-dessous résume en première approche les différences de points de vues qui pourraient exister entre celle de l'État et celle d'une organisation.

TABLE IX. HYPOTHESES, OBJECTIFS ET POINTS DE VUES

(a)	(b)	(c)
Hypothèses et Objectifs / Points de vue	État	Organisation
Croissance de la population	Hypothèse	Hypothèse
Croissance de la population active	Hypothèse	Hypothèse sur Input
Croissance du PIB (somme des Valeur ajoutée Brute)	Hypothèse	Objectif sur Output
Décarboner la production d'énergie	Objectif 1	Contrainte sur Input
Réduire de moitié les consommations d'énergie	Objectifs 2	Contrainte sur Input
Réduire les consommations non-énergétiques	Objectifs 3	Contrainte si concerné
Augmenter et sécuriser les puits de carbone	Objectifs 4	Objectif sur Output

Si pour les hypothèses et les objectifs, colonne (a), la précision a été apportée pour l'État en colonne (b) dans notre état de l'art, pour les organisations, si, la croissance du PIB (celle de la valeur ajoutée de leur point de vue) et celle des UTCATF seront très probablement des objectifs, les autres sont des contraintes en termes de gains de productivité à réaliser. Elles peuvent certes se traduire en objectifs mais ce sont avant tout de nouvelles contraintes à prendre en compte, ou pas, selon ses préférences et ses croyances, ses critères de choix et donc les compétences dont elle souhaite disposer et le comportement qu'elle souhaite avoir dans son environnement actif et sur les marchés pour celles qui sont dans un environnement compétitif.

## B. Une création de valeur soutenable extraite conjointement des performances financières et extra-financières

Pour ce qui est des perspectives de ces travaux, notamment pour ces prochaines sous-phases de design et de sélection de la phase anticipation, tout d'abord il paraîtrait intéressant d'inclure dans la réflexion le modèle en neuf niveaux de description d'un système complexe de J.L Le Moigne (Le Moigne, 1990) déjà utilisé. En effet, les organisations deviennent de plus en plus complexes et il est possible de les considérer comme des systèmes complexes. Un des facteurs ayant contribué à cette complexité est l'accroissement des fonctions "corporate" depuis les années 80 (management de la qualité, management des risques de l'entreprise, audit, développement durable, responsabilité sociétale et environnementale, achat-supply chain, digital,...) rendant très complexe la coordination entre elles et entre elles et les fonctions corporate traditionnelles (ressources humaines, ingénierie-production, marketing-vente, R&D, finance, IT) et enfin entre toutes ses fonctions corporate et les fonctions opérationnelles.

Compte tenu des résultats présentés dans la quatrième section, le système entreprise vu comme un système complexe va devoir se re-finaliser, ce qui est le neuvième niveau d'analyse d'un système. En effet, depuis l'ère préindustrielle ce qui doit être fait n'a jamais été réalisé. Les réglementations Taxonomie, *Sustainable Finance Disclosure Regulation* (SFRD) et *Corporate Sustainability Reporting directive* (CSRD) devraient alors ajouter à cette problématique de coordination générale, celle qui concerne plus particulièrement la coordination vis-à-vis du risque que l'entreprise encourt dans le cadre de ces activités aux regards désormais portés sur sa performance financière et extra-financière ainsi que sur la gouvernance pour y parvenir.

Sur ce point, l'organisation étant une propriété fondamentale des systèmes complexes, une des fonctions initiales d'un(e) *risk manager* est, dans une phase d'anticipation, de bien comprendre comment se crée la performance de l'organisation. Une fois acquis cela permet de modéliser les différentes interactions notamment entre l'ingénierie, l'ERM, la RSE et la finance, de façon à modéliser globalement le risque et à ce qu'ultérieurement les différentes ressources puissent sélectionner les différentes actions adaptées pour réaliser la stratégie. Le *Committee Of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission* (COSO) avait publié un premier cadre de référence de Management des Risques de l'Entreprise (ERM) en 2002. Le premier paragraphe de la synthèse précisait que "l'incertitude est une donnée intrinsèque à la vie de toute organisation. Aussi l'un des principaux défis pour la direction réside-t-il dans la détermination d'un degré d'incertitude acceptable afin d'optimiser la création de valeur, objectif considéré comme le postulat de base dans le concept de management des risques" (COSO, 2002). En 2017, le COSO a mis à jour ce référentiel (COSO, 2017) de façon à mieux intégrer la stratégie et la performance au management des risques et au contrôle interne. La prise en compte de ces référentiels, qui n'a pas été abordée dans cet article, ne peut pas ne pas tenir compte de l'entrée faite du concept de « *sustainable preferences* » aux côtés de celle déjà présente depuis 2012 de « *suitable investment* » dans la réglementation MIFID II (OJEU, 2021). L'intégration de facteurs de soutenabilité, de risques et de préférences dans les sociétés d'investissements, les compagnies d'assurance et les banques, avec les filtres de la SFRD, de la CSRD et de la Taxonomie conditionnera de façon certaine le financement de toutes les organisations. L'appétit pour le risque des entreprises pourrait tenir compte de ces aspects. En phase anticipation un choix devra être réalisé d'intégrer ou pas, ces facteurs à la performance et en conséquence à la stratégie de l'organisation et avec quelle manière elle souhaite créer de la valeur.

Les *Key Performance indicators* (KPI) ne devraient alors plus suffire à eux seuls. En effet, un ratio de type chiffre d'affaires et/ou valeur ajoutée sur tonne de GES, permettra de comparer, sur une année, l'objectif calculé avec le modèle proposé avec la réalisation mais ne donnera aucune indication quant à son *effectivité* par rapport à l'objectif de trajectoire à réaliser et ni sur l'*efficience* du système entreprise.

## C. D'une perspective macroéconomique à une perspective microéconomique : vers un nouveau type de bien ?

Enfin, pour s'approprier la SNBC, une organisation, avant de réfléchir à une quelconque stratégie, peut bloquer sur le caractère fondamentalement non intuitif qui est de continuer à accroître sa production en volume, c.-à-d. les quantités produites avec moins d'énergie, une décarbonation de sa chaîne de valeur et avec une population active constante. En effet, si l'on en croit le travail réalisé chaque année par le *World Wildlife Fund*, le jour du dépassement de la France est tombé le 5 mai en 2023 (le 2 août pour la planète). Autrement dit, selon cet indicateur, la France consomme (empreinte écologique) 2.9 fois trop que ce que l'ensemble des ressources que la Terre, pour sa part, peut reconstituer en une année. Une équipe de chercheurs a travaillé sur d'autres indicateurs à savoir sur les neuf processus interdépendants qui conditionnent l'habitabilité de notre planète et la prospérité de nos sociétés humaines dont six sont largement dépassés (Richardson & al, 2023). D'après ces informations une croissance en volume n'est pas intuitive.

Des travaux ci-dessus, une dernière perspective s'est dégagée. Une des caractéristiques des travaux de prospective de la SNBC 2, tout comme ceux de RTE au niveau macroéconomique vise « à informer les décisions de court terme malgré les objectifs de long terme ». Sur un plan cognitif, c'est très compliqué de décider de s'engager dans une stratégie qui, si elle réussit, le meilleur des résultats (+1.5° C de réchauffement à l'échéance 2100) sera plus mauvais que la situation initiale (+1,1°C). Ce constat est valable à titre individuel et à celui d'une organisation. De plus, comment serait considéré une entreprise qui publierait une stratégie à horizon 2050 ?

## D. Tenir compte des comportements dans les modèles économiques

La macroéconomie est l'ensemble des modèles économiques qui n'analysent jamais les comportements du système et qui les considèrent comme donnés et sommables (ce qui est notre cadre d'analyse pour résoudre notre problématique nous l'avons bien volontiers). Un approfondissement pourrait alors être conduit sous l'angle de la microéconomie qui étudie les comportements des éléments du système économique considéré (individuellement, en groupe) ou dans leur ensemble ainsi que le caractère compatible et éventuellement optimal de ces comportements (Munier, 1974). Ainsi, une des particularités d'un microéconomiste, en tant que théoricien des prix et de l'allocation de ressources (rares) est de toujours s'interroger sur la manière dont les données



sont agrégées. À ce jour, le calcul de l'agrégation des quantités de GES avec la chaîne taxonomie, CSRD et SFDR n'est pas sans difficultés sur ce point.

La microéconomie a peut-être trouvé sa naissance mi 18<sup>ième</sup> notamment avec les travaux de la famille Bernoulli. À la suite, c'est davantage à la fin du 19<sup>ième</sup> et la première moitié du 20<sup>ième</sup> qu'elle a trouvé sa forme définitive. Dans cette phase, le concept de « bien » a été défini comme les moyens qui permettent de satisfaire les besoins. On distingue d'une part, les biens naturels ou libres (produit par la nature et non d'une activité humaine) et considéré théoriquement en quantité illimitée (l'eau, l'air...) et d'autre part, les biens non naturels ou biens économiques. C'est à cette période que se développe l'économie du bien-être qui est la branche de l'économie, en tant que science sociale, qui s'intéresse à la définition et la mesure du bien-être social ainsi qu'à la meilleure façon dont les ressources et les revenus sont repartis pour des politiques publiques notamment.

Dans tous ces travaux, il était supposé que les agents connaissaient parfaitement les conséquences de leurs décisions, autrement dit, l'économie était sans risque. Les modèles économiques ne comportaient aucune incertitude, aucun risque. À la suite, les travaux de John Von Neumann et Oskar Morgenstern sur la théorie des jeux ont eu besoin, pour *prédire le comportement* d'un décideur (les décisions qu'il va prendre) dans des jeux coopératifs ou non coopératifs d'un index permettant désormais de classer non plus seulement des biens avec des quantités mais des alternatives risquées, c.-à-d, des distributions de conséquences avec des probabilités associées. Ils reprennent les travaux de Daniel Bernoulli qui dès 1738 avait compris l'importance de l'évaluation du risque dans les choix individuels (Bernoulli, 1971).

De ces travaux, les théories du bien-être et de la valeur étendent la microéconomie à la microéconomie de l'incertain. La notion de bien est étendue : un contrat de livraison d'une marchandise spécifique maintenant, en sus de ses propriétés physiques, son lieu et sa date de disponibilité, un ou des événements qui conditionnent la livraison (Debreu, 2021). Le concept de bien est étendu à celui de *bien contingent*. Kenneth Arrow développe l'économie du bien-être dans ce nouveau cadre. Deux applications majeures dans le domaine civil ont exploité les fondements de cette théorie tout en continuant à se mettre à jour sur ces évolutions notamment avec la théorie des perspectives (*Prospect Theory*) : l'assurance, la réassurance et la finance. Kenneth Arrow avait d'ailleurs publié un article lors d'une conférence à Paris précisant le rôle des actifs financiers « pour la répartition la meilleure des risques » (Arrow, 1953), une belle anticipation.

Le principe vis-à-vis des GES étant de revenir aux niveaux préindustriels autant prendre le parti de reconsidérer les modèles qui ont bien fonctionné sur certains aspects mais qui ne seront plus adaptés pour tenir compte des nouvelles exigences. Il en sera probablement de même pour tout un arsenal de normes volontaires ou non et de réglementations. Le concept de *bien contingent soutenable* pourrait alors se développer. Ce serait un bien qui spécifierait toujours ses propriétés physiques, son lieu et sa date de disponibilité mais des propriétés de soutenabilité écologique devraient être aussi spécifiées. La caractéristique de contingence restant applicable. Lors du Lambda Mu 23 nous avons introduit le concept de *Sustainable Dependability* permettant à des ingénieurs – managers de disposer d'un cadre pour concevoir, compte tenu des risques, des systèmes techniques *dependable* mais aussi *sustainable* en tenant compte notamment des flux et stocks d'énergie, de matières premières et des puits naturels de GES. Ici, la proposition serait de pouvoir le modéliser à l'échelle d'un système économique qui, dans un premier temps, pourrait contenir un sous-système de production, un sous-système de consommation avec entre eux un échange de travail de biens et de services contingents soutenables et un sous-système monétaire. Cela pourrait ouvrir la voie à l'émergence de marchés de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique pour lesquels les biens contingents soutenables seraient dotés de « signaux » suffisamment forts. Ces « signaux » ainsi générés par ces nouveaux biens, au sens de Akerlof (Akerlof, 1970) et au sein d'une économie comportementale qui permet de considérer la science économique avec d'autres sciences comme la sociologie ou la psychologie, devraient permettre d'assurer des prix cohérents avec la qualité du produit échangé et restauré l'efficacité d'un équilibre qui contiendrait par construction les écosystèmes naturels.

## CONCLUSION

Depuis plusieurs rapports le GIEC inscrit la présentation de ses travaux dans une démarche de plus en plus structurée de management intégré du risque de changement climatique duquel dépend en partie le bilan radiatif de la Terre. Ce bilan s'exprime comme l'égalité entre le rayonnement solaire absorbé ajouté à la production interne de chaleur desquels est déduit le rayonnement infrarouge thermique émis vers l'espace. Aujourd'hui ce bilan est positif et s'exprime en watts par mètre carré ( $Wm^{-2}$ ). Le forçage radiatif est alors la variation du rayonnement net entre le flux émis et le flux reçu aussi exprimé  $Wm^{-2}$  au sommet de l'atmosphère due à la variation d'un facteur du changement climatique (modification de la concentration de  $CO_2$  ou du rayonnement solaire). Entre les scénarii SSP du GIEC (trajectoires communes d'évolution socio-économiques en lien avec les différentes trajectoires de concentration de GES dans l'atmosphère), disons "on ne change rien" (le SSP5 8.5 avec une fourchette "très probable" de réchauffement de +1.9 à 3°C entre 2041-2060 et en accroissement significatif sur 2081-2100) et le scénario "à très faibles émissions respectivement très fortes réductions des émissions de GES" (le SSP1 1.9 avec une fourchette "très probable" de réchauffement de +1.2 à 2.0°C entre 2041-2060 et de +1.0 à 1.8°C sur 2081-2060) il y a moins de 6  $Wm^{-2}$  d'écart de forçage radiatif. Le réchauffement moyen en 2022 a été de +1.15°C et chaque fraction de degré de réchauffement a des conséquences importantes sur les extrêmes climatiques. En l'état, vu d'un humain un très faible déséquilibre (6 $Wm^{-2}$ ) peut avoir des conséquences systémiques importantes.

La SNBC est une réponse de la France de façon à contribuer, à son échelle, à limiter la température moyenne bien en dessous de +2°Celsius (C) tout en poursuivant ses efforts pour la maintenir si possible à +1,5°C au-dessus des niveaux préindustriels (le scénario SSP1 1.9). À l'échelle de la France, la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) situe le scénario SSP1 1.9 "Accord de Paris" à +2°C et le scénario SSP5 8.5 "pessimiste" à +4°C à horizon 2100 (en France métropolitaine le réchauffement climatique est plus intense que la moyenne mondiale, le réchauffement moyen en 2002 a été de +3°C comparé à l'ère préindustrielle).

En effet, la stratégie zéro émission nette est la seule, à ce jour, qui permet un développement socio-économique et une limitation du réchauffement à +1.5°C. Ainsi, dans une approche de management intégré des risques, le seuil de 80 MtCO<sub>2e</sub> est considéré comme le risque résiduel acceptable. Le seuil de -80 MtCO<sub>2e</sub> des UTCATF et des CSC correspond en quelque sorte au financement de ce risque résiduel. Pour gérer ce risque, des actions d'atténuation et d'adaptation au changement climatique doivent être mises en place.

L'objet de notre étude était justement de permettre à une organisation de rechercher dans l'environnement des conditions qui appellent des décisions avant de poursuivre vers une phase de design et de sélection sans la contrainte d'un type d'activité particulière développée (publique, financière, non financière, associative,...) ou sectorielle mais en fixant des exigences de haut niveau, au sens de l'architecture d'entreprise, avec un travail de descente d'échelle de la SNBC à celle d'une organisation.

#### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Unité d'Utilisation des Terres & Forêts du Citepa pour les précisions apportées sur les UTCATF ainsi que la société Risk intelligence & Decisions (RiD) pour l'accès aux bases de données et outils de calculs.

#### REFERENCES

- Algava, E., Blanpain, N. (2021). *Projection de population 2021-2070 pour la France – Méthodes et hypothèses. Volume 1*. DT 2021/05. Novembre 2021. Insee. 118 p.
- Akerlof, G. A. (1970, Aug.). *The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism*. The Quarterly Journal of Economics, 84(3), 488-500.
- Arrow, K. J. (1953). Le Rôle des Valeurs Boursières dans la Répartition la Meilleure des Risques. Dans Econometric (Éd.), *The Role of Securities in the Optimal Allocation of Risk Bearing*. 11, pp. 41-47. Paris: Colloques Internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Bechini, N., Fabre, M., Olivia, T. (2022). Projections de la population active à horizon 2080. Document de travail. N°2022. 6 juillet 2022. Insee.
- Bernouilli, D. (1971). *Exposé d'une théorie nouvelle sur l'évaluation du risque*. Revue de statistique appliquée, 19(3), 5-18.
- Citepa. (2024). *Téléchargements. Données par substance – gaz à effet de serre – ed. 2023*. CITEPA. <https://www.citepa.org/fr/telechargements>.
- Claude, F. (2019). *Modélisation, mesures et comparaison des risques post Farmer pour l'industrie*. C8123 v1. Saint-Denis, France: Editions TI.
- Claude, F. (2020, Juillet). *L'actuariat industriel, une réponse technique à l'intégration de la RSE dans les entreprises non-financières*. Revue Risques, SEDDITA, N°122, pp. 69 - 77.
- Claude, F., Signoret, J-P. (2022). La sûreté de fonctionnement soutenable : motivations. État de l'art, verrous et hypothèses scientifiques (1). Congrès Lambda Mu 23 "Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable" - 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2022, Paris Saclay, France. hal-03877915v2.
- COSO (2002). *COSO ERM Executive Summary*. French. COSO.
- COSO. (2017). *Le management des risques de l'entreprise. Une démarche intégrée à la stratégie et à la performance*. COSO.
- Debreu, G. (2001). *Théorie de la Valeur. Analyse Axiomatique de l'Equilibre Economique*. Paris, France: Dunod.
- DEPP. (2023). *Note d'information, n°23-43*. Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse.
- France 2030, (sd). *Stratégie CCUS. Capture, stockage, et utilisation du carbone. Consultation*. France 2023. Gouvernement.
- GIEC (2018). *Annexe 1: Glossaire*. Matthews, J.B.R. (éd.). Dans: Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [Publié sous la direction de V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield.
- I4CE. (2022). *Puits de carbone : l'ambition de la France est-elle réaliste ? Analyse de la stratégie Nationale Bas-Carbone 2*. Février 2022. Institute for Climate Economics.
- Insee. (2018). *Dossiers. Ralentissement de la productivité du travail et prévision de l'emploi en France*. Insee.
- Insee. (2022). *Conjoncture internationale. Les évolutions récentes de la productivité du travail dans les quatre principales économies de la zone euro : une décomposition par branche d'activité*. Insee.
- Insee. (2024a). *Sociétés non financières / Secteur des sociétés non financières*. Insee. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1218>
- Insee. (2024b). *Les comptes de la Nation en 2022. Entreprises non financières en 2022. Comptes nationaux annuels – base 2014*. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6793608?sommaire=6793644>
- Insee. (2024c). *Évolution du produit intérieur brut et de ses composantes. Données annuelles de 1950 à 2022*. Insee. <https://www.citepa.org/fr/telechargements>.
- Institut des Actuaire. (2024). *La courbe des taux*. <https://www.institutdesactuaire.com/se-documenter/courbes-et-tables/la-courbe-des-taux-43>.
- Le Moigne, J.-L. (1990). *La Modélisation des Systèmes Complexes*. Paris: Dunod.
- Marchand, O., Thélot, C. (1990). Deux siècles de productivité en France. In: Economie et statistique, n°237-238, Novembre- Décembre 1990. *La productivité: Tendances et facteurs explicatifs*. pp. 11-25; doi : <https://doi.org/10.3406/estat.1990.5499>
- MEDDE-DGEC. (2015). *Scénarios prospectifs énergie-climat-air. Rapport final – synthèse des résultats*. Septembre 2015. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Direction Générale de l'Énergie et du Climat .
- MEDDE-DGEC. (2020). *Synthèse du scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat. SNBC et PPE*. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Direction Générale de l'Énergie et du Climat .
- MTE. (2020). *Stratégie Nationale Bas-Carbone : la transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone*. Mars 2020. Ministère de la transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. 192 p.
- MTE. (2023a). *Synthèse du scénario « avec mesures existantes » 2023 (AME 2023). Projection climat et énergie à 2050*. Mars 2023. Direction générale de l'énergie et du climat. Ministère de la Transition Écologique.
- MTE. (2023b). *Synthèse du scénario AME 2023. Projection climat et énergie à 2050. Mars 2023*. Direction générale de l'énergie et du climat. Ministère de la Transition Écologique.
- MTES. (2020). *La stratégie nationale bas-carbone (SNBC) en 10 points*. DICOM-DGEC/FLY/18222. Oct. 2020. Ministère de la transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. 2 p.
- MTE. (2024). *Stratégie Nationale Bas-Carbone*. Publié le 21 juillet 2022. Ministère de la transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

- MTECT. (2024). *Scénarios prospectifs énergie-climat-air. Publié le 26 juin 2023. Ministère de la transition Écologique et de la Cohésion des Territoires.* <https://www.ecologie.gouv.fr/scenarios-prospectifs-energie-climat-air>
- Munier, B. (1974). *Introduction à la microéconomie*. 1<sup>ière</sup> Ed. Presses Universitaires de France.
- NGC. (2024). *Connaissez-vous votre empreinte carbone sur le climat ?*. Nos gestes climat. <https://nosgestesclimat.fr>
- OJEU. (2021). *Amending Delegated Regulation (EU) 2017/565 as regards the integration of sustainability factors, risks and preferences into certain organisational requirements and operating conditions for investment firms*. 21 avril 2021. Commission Delegated Regulation (EU) 2021/1253. Official Journal of the European Union.
- Richardson, J., Steffen W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., et.al. (2023). *Earth beyond six of nine Planetary Boundaries*. Science Advances, 9, 37.
- RTE. (2022). *Futurs énergétiques 2050. Rapport complet*. Février 2022. Réseau de Transport d'Électricité. 992 p.
- SDES. (2021). *Chiffres clés de l'énergie. Édition 2021*. Septembre 2021. MTE. Service des Données et des Études Statistiques.
- SDES. (2023). *Chiffres clés de l'énergie. Édition 2023*. Septembre 2023. MTE. Service des Données et des Études Statistiques.
- Shift Project. (2020). *Contribution du Shift Project à la consultation sur la Stratégie nationale bas-carbone*. Mars 2020. The Shift Project.
- Simon, H.A. (1973). *The structured of Ill-Struted Problems*. Artificial Intelligence. Vol. 4, 181-201. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(73\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0004-3702(73)90011-8)
- Simon, H. A. (1977). *The new science of management decision*. Revised (3rd) ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 175 pp.

## ANNEXE

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
<b>Nombre de périodes</b>					32	60	28	60	28
<b>Dates</b>	<b>1990</b>	<b>2022</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>	<b>2022 / 1990</b>	<b>2050 / 1990</b>	<b>2050 / 2022</b>	<b>1990 - 2050</b>	<b>2022 - 2050</b>
<b>Population en M</b>	56,58	67,52	68,55	69,21	19%	22%	3%	0,00336	0,00099
<b>Population active en M</b>	25,27	29,97	30,02	29,65	19%	17%	-1%	0,00267	-0,00042
<b>GES en MtCO2e</b>	539	404	254	80	-25%	-85%	-80%	-0,03130	-0,05618
<b>PIB en Mds€</b>	1 480	2 351	2 607	3 376	59%	128%	44%	0,01383	0,01300
<b>C° Energie finale en TWh</b>	1 488	1 588	1 364	933	7%	-37%	-41%	-0,00775	-0,01881
<b>UTCATF en MtCO2e</b>	-20	-20	-30	-80	0%	294%	293%	0,02313	0,05014

<b>1990 / 2050</b>	
Réduction	Croissance
60	60
<b>Facteur ↓</b>	<b>Facteur ↑</b>
	1,2
	1,2
6,7	
	2,3
1,6	
	3,9