

INVESTIR DANS DES INFRASTRUCTURES BAS-CARBONE EN FRANCE QUELS IMPACTS MACRO-ÉCONOMIQUES¹

**Alexandre Tourbah, Frédéric Reynès*, Meriem Hamdi-Cherif,
Jinxue Hu**, Gissela Landa, Paul Malliet**

Sciences Po, OFCE

** OFCE ; NEO – Netherlands Economic Observatory ; TNO – Netherlands Organization
for Applied Scientific Research*

*** NEO – Netherlands Economic Observatory*

Les politiques d'infrastructures constituent un levier essentiel pour les efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation des territoires aux conséquences du réchauffement climatique. Dans la perspective de la transition environnementale en France, des investissements significatifs devront être réalisés dans les années à venir pour transformer, rénover et maintenir les infrastructures, entraînant d'importantes évolutions socio-économiques à l'échelle du pays. Le présent article donne les montants d'investissements additionnels en infrastructures nécessaires à l'atteinte des objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone et de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, selon deux scénarios distincts (« Pro-techno » et « Sobriété ») avant d'en analyser les conséquences macro-économiques et sectorielles. Les résultats mettent en évidence une hausse significative du PIB (de 1 à 1,2 %) et du nombre d'emplois (entre 300 000 et 400 000 emplois supplémentaires) durant la première décennie (2021-2030) dans les deux scénarios ; les bénéfices se répartissant entre différents secteurs d'activité, au premier rang desquels les travaux publics et les services. Après 2030, les impacts économiques sont moins marqués dans le scénario Sobriété, du fait d'investissements plus réduits dans les secteurs routiers, ferroviaires, et l'aménagement de sites, mais restent positifs aussi bien sur l'activité que sur l'emploi. L'analyse effectuée met en évidence la sensibilité des résultats à des hypothèses complémentaires associées à ces scénarios, en particulier la baisse des importations d'énergie de la France.

Mots clés : investissements en infrastructures, travaux publics, impacts macro-économiques, transition bas-carbone, adaptation au changement climatique.

1. Cet article est tiré d'une étude réalisée en 2021 par Carbone 4, l'OFCE et NEO : Carbone 4, OFCE, NEO, *Le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone et l'adaptation au changement climatique de la France, 2021.*

Les infrastructures publiques constituent un des piliers fondamentaux du tissu économique et social d'un pays. Pourvoyeur de services essentiels à la qualité de vie des populations tels que l'accès à l'eau, l'électricité, la mobilité et les services numériques, le secteur des travaux publics apparaît comme un secteur éminemment sensible dans le contexte de la crise climatique et des transformations qu'elle implique. En particulier, la question du rôle des infrastructures dans les politiques d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ses impacts constitue un enjeu clé pour les décennies à venir, tant d'un point de vue technique qu'économique et sociétal. En France, plusieurs documents cadres définissent les objectifs nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de transformation des systèmes énergétiques à l'horizon 2050 ainsi que les mesures à adopter en matière d'adaptation aux aléas climatiques : la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) et le Plan national d'adaptation au changement climatique comptent parmi les plus importants. Le rapport « Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation » publié par Carbone 4 (2022) présente un bilan, par type d'infrastructures, des investissements annuels en travaux publics nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés par ces documents selon deux scénarios distincts. Le premier, dit « Pro-Techno », se fonde essentiellement sur le déploiement d'innovations technologiques existantes et futures pour réduire l'empreinte carbone de la France tandis que le second, dit « Sobriété », repose sur un changement profond de nos modes de vie, avec une limitation voire une réduction importante de la consommation de certains types de biens et services (e.g. véhicules individuels, transport aérien, technologies numériques...). Les deux scénarios ont été conçus de manière à aboutir à l'objectif de neutralité carbone en 2050 et à garantir le respect des budgets carbone définis par la SNBC à court et moyen terme².

Si ce rapport évalue de manière détaillée les quantités physiques de différents types d'infrastructures qu'il faudra construire ou maintenir à l'horizon 2050 dans les scénarios Pro-Techno et Sobriété, la faisabilité de tels scénarios ne dépend pas seulement de déterminants physiques ou techniques (e.g. rythme de construction d'infrastructures, déploiement d'une innovation...), mais également de critères socio-

2. Le détail des narratifs de ces deux scénarios est présenté dans le tableau 2 en annexe.

économiques. Par exemple, si des scénarios d'investissements aboutissent à des effets très négatifs en termes d'activité ou d'emploi dans certains secteurs, ou créent de forts déséquilibres dans les chaînes de valeur, ils peuvent s'avérer plus difficiles voire impossibles à mettre en œuvre. De plus, le choix d'un scénario d'investissement plutôt qu'un autre devra prendre en compte ces facteurs socio-économiques, qui conditionnent le degré d'acceptabilité de ces scénarios par les ménages, les entreprises et les acteurs associatifs. Dans cette perspective, cet article a pour objectif d'évaluer les impacts socio-économiques des scénarios « Pro-Techno » et « Sobriété », et ce faisant, d'informer le débat public sur les décisions d'investissement en infrastructures dans le contexte de la transition bas-carbone en France.

Plusieurs travaux récents se sont intéressés à l'impact économique de décisions d'investissement en infrastructures intégrant des objectifs climatiques. Millner et Dietz (2015) ont par exemple utilisé un modèle d'évaluation intégrée pour étudier quelles décisions d'allocation des investissements dans les pays en développement – entre capitaux productifs traditionnels et capitaux adaptés aux impacts du changement climatique – minimiseraient les dommages climatiques dans les trois siècles à venir selon différents critères. Vogt-Schilb *et al.* (2018) ont cherché à caractériser les choix d'investissements optimaux en capitaux bas-carbone (échelonnement dans le temps, allocation sectorielle et coût des capitaux). Ils aboutissent à la conclusion que dans les secteurs où le potentiel de réduction d'émissions est le plus élevé et où les capitaux à faibles émissions sont les plus chers, les investissements requis par tonne de carbone sont plus importants et devraient être effectués de façon anticipée. Waisman *et al.* (2012) et Hamdi-Cherif *et al.* (2021) se sont intéressés aux politiques d'investissement en infrastructures de transport bas-carbone et à leur effet sur le coût macroéconomique des politiques climatiques. En utilisant un modèle d'équilibre général calculable, ils obtiennent que pour une même cible de réduction d'émissions, la hausse du prix du carbone requise est significativement moindre en présence de politiques de transport bas-carbone qu'en l'absence de telles politiques.

Dans le secteur du transport routier, Schweikert *et al.* (2014) ont utilisé un modèle de circulation générale couplé à l'outil Infrastructure Planning Support System (IPSS) pour évaluer le coût économique des aléas climatiques sur les infrastructures routières dans 10 pays durant les décennies 2050 et 2100, selon deux scénarios (avec ou en l'absence de mesures d'adaptation). Selon cette évaluation, les politiques

d'investissement optimales sont celles intégrant de manière proactive l'adaptation des réseaux routiers aux aléas climatiques. Dans le domaine de la prévention des risques d'inondation aux Pays-Bas, Haasnoot *et al.* (2019) ont également évalué quels choix d'investissements (construction de digues ou restauration du lit majeur des rivières) génèrent la plus grande valeur actualisée nette à différents horizons de temps (40 et 80 ans), en prenant en compte des coûts de transfert d'un choix d'investissement vers un autre.

D'autres travaux se sont attachés à quantifier les investissements en infrastructures nécessaires à l'atteinte d'objectifs de réduction des émissions de gaz à effet serre. Kennedy et Corfee-Morlot (2013), s'appuyant sur des travaux de l'AIE (2012) et de l'OCDE (2006 et 2012) ont réalisé une estimation des besoins annuels d'investissement en infrastructures à l'échelle mondiale dans un scénario bas-carbone (hausse de température de 2°C en 2100), par rapport à un scénario de référence (jusqu'à 6°C de réchauffement), montrant que des choix d'investissements ciblés peuvent favoriser un cycle de croissance bas-carbone de l'économie à l'échelle globale. Rozenberg et Fay (2019) ont estimé que dans les pays du Sud, les coûts liés à la construction et à la maintenance de nouvelles infrastructures pourraient représenter entre 2 % et 8 % du PIB par an d'ici 2030, en incluant les secteurs de l'accès à l'eau et à l'assainissement, des transports, de l'électricité, de l'irrigation et de la protection contre les inondations. En France, Hainaut *et al.* (2019, 2020) ont effectué une évaluation détaillée des besoins d'investissement annuel compatibles avec les objectifs de la SNBC et de la PPE dans les secteurs du bâtiment, de l'énergie et des transports ainsi que des différents leviers de financement permettant de les réaliser. Selon cette étude, le montant annuel des dépenses de l'État devrait augmenter de 17 milliards d'euros à l'horizon 2028 pour répondre aux besoins d'investissement dans ces secteurs. Enfin, certaines publications fournissent une évaluation des impacts économiques de plans d'investissement en travaux publics : Schürenberg-Frosch (2014) a par exemple utilisé un modèle d'équilibre général calculable pour estimer les impacts macroéconomiques et sectoriels d'une hausse des investissements en infrastructures routières en Zambie. Les simulations effectuées montrent une hausse de la production dans le secteur des services publics, de la manufacture et de l'extraction minière et une baisse dans les services financiers, les services de transport et l'agriculture.

Toutefois, aucun des travaux cités précédemment ne s'appuie sur une estimation exhaustive des besoins physiques en infrastructures dans tous les secteurs des travaux publics et qui tienne compte d'objectifs environnementaux précis. De surcroît, aucune des évaluations économiques présentées n'inclut un détail des effets induits par secteur et par domaine d'activité des travaux publics. Notons enfin que jusqu'à présent, très peu d'études économiques intègrent à la fois des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des mesures d'adaptation aux aléas climatiques. L'objet du présent article est d'évaluer les impacts macroéconomiques et sectoriels de scénarios d'investissement en infrastructures compatibles avec les objectifs français d'atténuation et d'adaptation au changement climatique en considérant l'ensemble des activités de travaux publics.

La section 1 décrit la répartition des investissements en infrastructures entre les différents segments d'activité des travaux publics puis détaille les montants d'investissements additionnels par activité dans les deux scénarios considérés. La section 2 présente ensuite le modèle utilisé et expose les principales hypothèses retenues avant d'analyser les résultats macroéconomiques et sectoriels obtenus dans chaque scénario à l'horizon 2050. Enfin, la section 3 dresse le bilan des impacts économiques des scénarios simulés et en tire les conclusions pour l'élaboration de politiques d'investissement en infrastructures adaptées aux enjeux climatiques.

1. Passage des infrastructures aux investissements par activité

Les investissements en infrastructures compatibles avec les objectifs climatiques de la France sont présentés par catégorie d'infrastructures qui sont réparties en trois volets : un volet « Réduction », qui comprend les secteurs de la mobilité, de l'énergie et du numérique, un volet « Restauration » qui comprend les activités de désartificialisation, de reforestation et de restauration des écosystèmes, et un volet « Résilience », qui comprend les mesures d'adaptation des infrastructures aux aléas climatiques³. Les montants d'investissement par catégorie d'infrastructures sont résumés dans le graphique 1, pour chacun des deux scénarios considérés.

3. Cette catégorisation reprend celle du rapport de Carbone 4 (2022) cité en introduction.

Graphique 1. Montants d'investissement par catégorie d'infrastructures dans les scénarios Pro-Techno et Sobriété (milliards d'euros)



Carbone 4, OFCE, NEO (2021).

L'impact économique lié à la réalisation de ces infrastructures est évalué à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable (cf. section 2.1). Ce dernier utilise les données de la comptabilité nationale qui distinguent les secteurs des travaux publics selon le type d'activités et non selon le type d'infrastructures que ces secteurs contribuent à construire. Or, une infrastructure donnée demande l'intervention de différents métiers des travaux publics. Par exemple, les investissements en infrastructures ferroviaires incluent non seulement la pose de voies ferrées mais également une part importante de travaux de terrassement. Pour chaque volet, les montants d'investissements par type d'infrastructures (e.g. routes, pistes cyclables, réseaux électriques, stations de recharge d'hydrogène, etc.) ont donc été répartis entre les différentes activités des travaux publics retenues dans le modèle d'équilibre général. La représentation ci-dessous donne la répartition des montants d'investissements cumulés des volets Réduction, Restauration et Résilience entre les différents types d'activités pour chacun des scénarios.

Le tableau présente la liste des secteurs des travaux publics (TP) et indique le poids de ces secteurs pour différents indicateurs économiques clé tels que la production, l'emploi, l'investissement et la consommation intermédiaire de biens et services⁴.

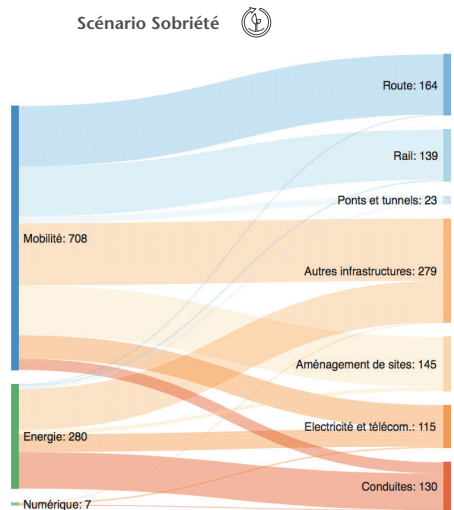
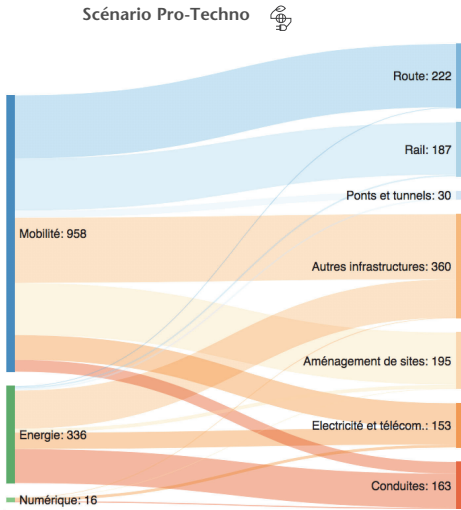
Les montants d'investissements par type d'infrastructures sont ainsi répartis entre les activités des TP énumérées ci-dessus. Pour faciliter la lecture des résultats, les sous-secteurs « Préparation de sites », « Démolition » et « Forage » sont par la suite agrégés en un seul et même secteur, sous la dénomination « Aménagement de sites ».

Pour mesurer l'impact économique d'un plan d'investissement en infrastructures compatible avec la SNBC, ne sont pris en compte dans la suite de cette étude que les investissements additionnels par rapport à un scénario sans ambitions bas-carbone. Cette approche évite ainsi de surestimer l'effet économique des programmes d'investissement. En particulier, elle intègre le fait qu'un scénario puisse aboutir à des baisses d'investissements.

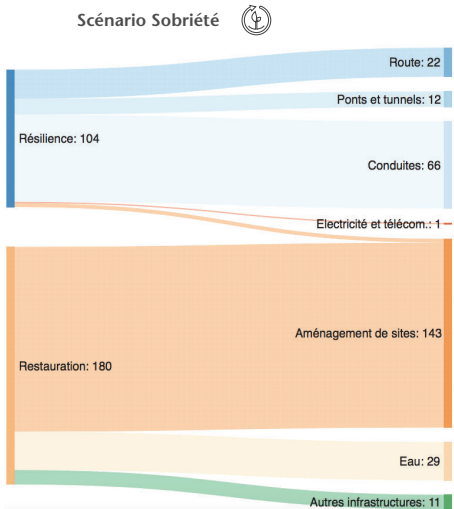
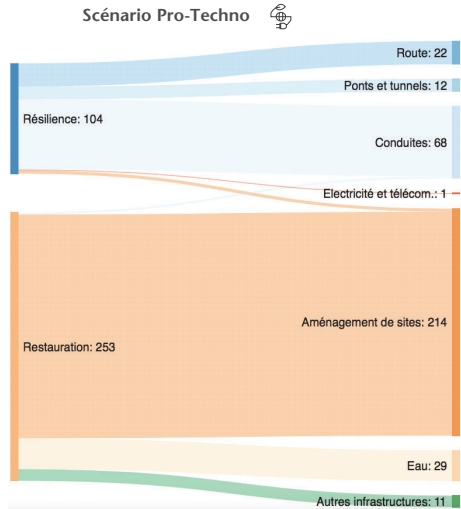
4. Selon la base de données *Structural Business Statistics* : <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/ks-ra-07-015>

Graphique 2. Répartition des montants d'investissement cumulés sur 2021-2050 entre les différents secteurs des travaux publics (milliards d'euros)

Volet Réduction



Volets Résilience et Restauration



Lecture : Pour chaque scénario, les chiffres indiqués sur ces diagrammes correspondent aux montants d'investissement cumulés en milliards d'euros sur la période 2021-2050, par type d'infrastructure et par activité des travaux publics. Les catégories situées à gauche correspondent à une classification des investissements par volet (i.e. par type d'infrastructures), celles situées à droite à une classification par activité des travaux publics. Au sein du volet Réduction, on distingue ici les investissements relatifs à la mobilité, à l'énergie, et au numérique.

Tableau. Secteurs des Travaux Publics – données économiques clés en 2018

Secteur Indicateur	Valeur de la production (%)	Nombre d'emplois en Équivalent Temps Plein (%)	Consommation intermédiaire de biens et services (%)	Investissement brut en biens corporels (%)
1. Route : Construction de routes et d'autoroutes	50,2 %	49,6 %	48,2 %	50,0 %
2. Rail : Construction de voies ferrées et de voies souterraines	1,1 %	1,0 %	1,1 %	1,6 %
3. Ponts et tunnels : Construction de ponts et de tunnels	0,9 %	0,8 %	0,9 %	0,5 %
4. Conduites : Construction de conduites	5,5 %	6,4 %	5,9 %	5,3 %
5. Électricité et télécom. : Construction de réseaux d'électricité et de télécommunications	6,5 %	8,7 %	5,9 %	7,4 %
6. Eau : Construction de projets hydrauliques	3,4 %	1,5 %	3,8 %	2,0 %
7. Autres infrastructures : Autres projets de génie civil	6,9 %	3,6 %	8,3 %	6,1 %
8. Démolition	1,8 %	1,9 %	1,9 %	0,9 %
9. Préparation de sites	23,0 %	25,9 %	23,4 %	25,1 %
10. Forage	0,8 %	0,7 %	0,8 %	1,0 %
Total Travaux Publics (millions d'euros)	58 812	251 015	38 511	3 295
Part des TP dans l'économie (%)	1,5 %	1,1 %	2,0 %	0,7 %

Structural Business Statistics, nomenclature NACE Rev.2.

Ainsi, les montants d'investissements annuels reportés ci-dessous, puis utilisés comme donnée d'entrée du modèle ThreeME, sont des surplus d'investissements par rapport aux investissements réalisés dans le scénario dit « de référence ». Le scénario de référence (également appelé scénario « Business-as-usual » ou « baseline ») fournit la trajectoire tendancielle des investissements en l'absence de la mise en œuvre des scénarios Pro-Techno ou Sobriété, autrement dit en l'absence de politiques compatibles avec le respect des objectifs de la SNBC. Les résultats des simulations macroéconomiques sont donc aussi comparés au scénario de référence : tous les résultats sont donnés en variations absolues ou relatives par rapport au scénario de référence. Ceci s'interprète par une augmentation ou une diminution de l'indicateur considéré (PIB, production, valeur ajoutée, emploi, etc.) en (pourcentage de) variation par rapport à sa valeur dans le scénario de référence pour la même période.

Le graphique 3 donne les montants des investissements additionnels en infrastructures des scénarios Pro-Techno et Sobriété par activité des travaux publics et pour les différents volets :

Graphique 3. Investissements additionnels par scénario et par secteur d'activité



Lecture : La première barre du graphique situé en haut à gauche indique qu'entre 2021 et 2025, 23 milliards d'euros par an supplémentaires sont investis dans le secteur des travaux publics dans le scénario Pro-Techno par rapport au scénario de référence. Carbone 4, OFCE, NEO (2021).

Les deux scénarios compatibles avec les objectifs de la SNBC considérés (Pro-Techno et Sobriété) impliquent une hausse des investissements dans les TP. Quelques différences importantes apparaissent toutefois entre les deux scénarios :

- Les montants d'investissements supplémentaires du scénario Pro-Techno sont supérieurs par rapport au scénario Sobriété : sur la période 2021-2050, 27 milliards d'euros par an⁵ dans le scénario Pro-Techno contre 14 milliards d'euros dans le scénario Sobriété ;

5. Cette valeur est inférieure de 2,5 milliards à celle déterminée dans le rapport de Carbone 4 (2022), qui est de 29,5 milliards d'euros. Ceci est dû au fait que les investissements dans les énergies renouvelables comptabilisés ici comprennent uniquement la part des travaux publics. Ils excluent donc les toitures photovoltaïques, et incluent uniquement 25 à 30 % du coût d'investissement total pour les autres énergies renouvelables. Il en est de même dans le scénario Sobriété : les investissements additionnels y sont donc aussi inférieurs à ceux estimés dans le rapport de Carbone 4.

- La trajectoire des investissements est aussi différente. Elle augmente au cours du temps dans le scénario Pro-Techno alors qu'elle atteint un point haut en 2030 avant de décroître dans le scénario Sobriété. Elle passe de 23 (resp. 20) à 32 (resp. 9) milliards d'euros entre 2021 et 2050 dans le scénario Pro-Techno (resp. Sobriété) ;
- Dans le scénario Pro-Techno, les investissements du volet Réduction croissent de manière relativement régulière, avec une hausse importante au début de la décennie 2030 et de la décennie 2040, principalement du fait d'un accroissement des montants investis dans les travaux ferroviaires et électriques. Dans le scénario Sobriété, les investissements de ce volet suivent une trajectoire similaire au scénario Pro-Techno jusqu'en 2030, mais les investissements décroissent fortement après 2030, en particulier dans le secteur des travaux routiers et le secteur ferroviaire du fait d'un besoin de mobilité inférieur ;
- Dans les deux scénarios étudiés, les investissements du volet Restauration comprennent une très large majorité de travaux d'aménagement de site. Ceux-ci incluent essentiellement des travaux de désartificialisation des sols et de recyclage des friches, ainsi que des travaux de terrassement liés à la végétalisation des villes, la plantation d'arbres et de haies bocagères et la restauration des zones humides et prairies. À la différence du scénario Pro-Techno, le scénario Sobriété n'inclut aucun investissement dans la distribution et le stockage du CO₂, ce qui explique pour partie que les montants soient globalement moins élevés dans ce scénario. Dans le scénario Pro-Techno, les montants additionnels dédiés aux travaux d'aménagements restent relativement stables sur la période d'étude (autour de 6 milliards d'euros additionnels par an) alors que ceux-ci diminuent significativement dans le scénario Sobriété après 2035, passant d'environ 5,5 milliards d'euros additionnels par an sur 2021-2035 à 2,5 milliards d'euros sur 2036-2050. Ceci s'explique par un effort important sur la première décennie suivie par une diminution importante des investissements additionnels dans le recyclage des friches entre 2030 et 2040 dans les deux scénarios. Cette diminution est compensée par une hausse des travaux de désartificialisation après 2030 dans le scénario Pro-Techno, mais pas dans le scénario Sobriété ;

- Les investissements du volet Résilience du scénario Sobriété sont identiques à ceux du scénario Pro-Techno du fait de l'hypothèse que les montants à engager pour l'adaptation des infrastructures aux impacts du changement climatique seront similaires dans les deux scénarios. Les investissements du volet Résilience présentent une trajectoire hétérogène selon les activités de travaux publics, liée au poids relatif des investissements préventifs et des dépenses curatives dans ces différents secteurs. Les travaux de construction de ponts et tunnels sont des investissements préventifs, et de ce fait, interviennent pour grande partie au cours des quinze premières années de la période d'étude (2021-2035). À l'inverse, les travaux routiers inclus dans le volet Résilience constituent des dépenses curatives si bien que leur part augmente rapidement entre 2030 et 2050 à mesure que s'intensifient les dommages induits par le changement climatique. La rénovation des conduites d'eau et l'aménagement de sites pour la construction de digues côtières et fluviales constituent également des investissements importants de ce volet et sont répartis de manière homogène sur 2021-2050 ;
- Dans le scénario Pro-Techno, la répartition de l'investissement total entre les trois volets met en évidence la part prépondérante du volet Réduction dans le total des montants investis sur la période 2021-2050 (près des deux tiers du total). Le volet Restauration compte pour près de 25 % du total et le volet Résilience pour seulement 13 %. Si le poids du volet Résilience dans l'investissement total reste relativement stable, les parts relatives des volets Réduction et Restauration varient de manière importante suivant les années. Ainsi, la part du volet Réduction augmente et passe d'environ 59 % des investissements sur la période 2021-2030 à 66 % sur 2041-2050. À l'inverse, la part du volet Restauration diminue et passe de 28 % du total investi sur la période 2021-2030 à 22 % sur la période 2041-2050. Dans le scénario Pro-Techno, le volet Réduction occupe donc une place croissante dans les investissements en travaux publics au fil des années, là où la part relative des volets Restauration et Résilience devient moindre ;
- Dans le scénario Sobriété, la répartition de l'investissement total entre les trois volets met en évidence des changements importants dans les choix d'investissements en infrastructures par rapport au scénario Pro-Techno, en particulier à partir de 2030. En effet, si le volet Réduction représente 56 % des investissements

sur la période 2021-2030, cette part décroît fortement dans les décennies suivantes pour atteindre 40% sur 2031-2040 et 30 % sur 2041-2050. Cela s'explique par une diminution marquée des investissements dans le secteur des travaux routiers et le secteur ferroviaire. Le volet Restauration constitue une part relativement stable des montants investis dans ce scénario, sa part relative passant de 28 % du total sur 2021-2030 à 33 % sur 2031-2040, avant de retomber légèrement – à 26 % – sur 2041-2050. Dans le même temps, le volet Résilience occupe une part croissante dans l'éventail des investissements, passant de 16 % sur 2021-2030 à 26 % sur 2031-2040, pour atteindre 43 % sur 2041-2050. Cette tendance s'explique par une forte baisse des montants investis dans les volets Réduction et Restauration après 2030, là où les investissements du volet Résilience augmentent progressivement entre 2021 et 2050 pour s'adapter aux aléas climatiques. Ainsi, la nature des investissements réalisés dans la décennie 2040-2050 apparaît profondément modifiée par rapport à la première décennie, et très différente du scénario Pro-Techno.

2. Impacts économiques

2.1. Cadre de modélisation : le modèle ThreeME

Afin de quantifier les impacts socio-économiques des scénarios d'investissements en infrastructures présentés dans les parties précédentes, nous utilisons ThreeME, un modèle d'équilibre général calculable destiné à l'évaluation des impacts économiques des politiques énergétiques et environnementales. Développé par l'ADEME (Agence de la Transition Écologique), l'OFCE (Observatoire Français des Conjonctures Économiques) et NEO (Netherlands Economic Observatory) depuis 2008, le modèle ThreeME a su jouer un rôle de premier plan en France au sein des débats inter-administratifs et interministériels concernant les questions relatives à l'évaluation macro-économique des politiques énergie-climat, que ce soit à travers la mobilisation de cet outil lors du Débat National sur la Transition Énergétique (DNTE), l'évaluation de scénarios de transition énergétique par l'ADEME ou encore la mise à disposition de cet outil au Ministère de la Transition écologique (MTE)⁶.

6. Dans une même optique et en partenariat notamment avec l'AFD ou le PNUD, ThreeME est utilisé dans d'autres pays et contextes régionaux : Mexique, Indonésie, Pays-Bas, Tunisie, Région Occitanie.

Afin de simuler les impacts économiques de scénarios d'investissement en infrastructures, le modèle a été adapté au contexte de l'étude. En effet, il est apparu important de représenter de manière détaillée les impacts des investissements sur les différents sous-secteurs des travaux publics. Dans le modèle, ces derniers étaient auparavant agrégés et regroupés avec le Bâtiment au sein du secteur de la Construction. Nous avons donc scindé le secteur de la construction en un secteur du Bâtiment d'une part, et en différents sous-secteurs des travaux publics d'autre part. Cette désagrégation a été effectuée à partir de la base de données *Structural Business Statistics*, qui fournit une décomposition du secteur de la Construction. Les secteurs des travaux publics concernent uniquement les secteurs relatifs au génie civil et à l'aménagement de sites. Les autres secteurs de la catégorie *Construction* ont été agrégés dans ThreeME au sein d'un secteur Bâtiment unique.

De manière à faciliter l'analyse, les autres secteurs de l'économie ont été répartis en cinq grands domaines d'activité : les Services, la Fabrication, l'Énergie, l'Agriculture, et l'Immobilier (correspondant au secteur du Bâtiment). En comparant les scénarios d'investissement en infrastructures à un scénario de référence, le modèle permet d'estimer les impacts des investissements réalisés sur le produit intérieur brut ainsi que sur le chiffre d'affaires, la valeur ajoutée, l'emploi et l'investissement dans les différents secteurs de l'économie⁷.

2.2. Principales hypothèses, effet de multiplicateur, effet de richesse et effet de substitution

Dans les deux scénarios considérés, nous faisons l'hypothèse que le plan d'investissement est financé par de l'investissement public (État ou collectivités locales), ce qui est cohérent avec le fait que les actions financées sont d'intérêt public et sont prises en charge en grande part par l'État et ses services déconcentrés ainsi que par les collectivités locales. Cette hausse de l'investissement public a un effet positif à la fois direct et indirect sur l'activité économique. Elle se traduit par une hausse de l'activité dans les secteurs des travaux publics, avec pour effet indirect une hausse de l'activité dans d'autres secteurs auprès desquels se fournissent les secteurs des travaux publics. Cette croissance de l'activité entraîne par la suite une hausse de l'emploi, une

7. La description complète de ThreeME est accessible sur le site <http://www.threeme.org>. Pour plus d'informations concernant le modèle et ses applications, voir notamment Malliet *et al.* (2020), Landa *et al.* (2018), Bulavskaya et Reynès (2018) et Callonnet *et al.* (2016).

augmentation du revenu des ménages et une hausse de la consommation ainsi qu'une hausse du taux d'intérêt. Cette série d'impacts est souvent appelée « effet de multiplicateur », car l'effet résultant sur le PIB est supérieur à l'investissement initial. Cette hausse d'activité est toutefois contrebalancée par une dégradation de la balance commerciale qui résulte de deux effets. Le premier provient d'un effet de richesse : la hausse de la demande est en partie satisfaite par la hausse des produits importés. Le deuxième provient d'un effet de substitution : la hausse de l'activité génère une hausse de l'inflation et donc une dégradation de la compétitivité par rapport aux producteurs étrangers. Ceci entraîne une hausse supplémentaire des importations et une baisse des exportations. Ces deux effets se retrouveront dans les résultats des simulations explicités plus loin.

Il est à noter que les hypothèses retenues dans le modèle sont prudentes concernant l'ampleur des effets positifs. En effet, le choc d'investissement conduit à une dégradation de la compétitivité et donc de la balance commerciale liée à la hausse des prix, conséquence de l'hypothèse selon laquelle la France est déjà au plein emploi et que les autres pays ne mènent pas de politique d'investissement similaire. Or, il apparaît que plusieurs pays ont déjà annoncé des programmes d'investissement ambitieux en infrastructures dans les années à venir dont, par exemple, le Royaume-Uni et les États-Unis. Par ailleurs, un certain nombre d'impacts positifs ne sont pas pris en compte dans notre simulation :

L'augmentation de la productivité et de l'attractivité de la France liée à l'amélioration de la qualité des infrastructures ;

- Les coûts évités (dommages climatiques notamment) ;
- Le focus sur les travaux publics et donc la non prise en compte d'impacts liés à la transition énergétique même comme la réduction des importations d'énergies fossiles ou les investissements en efficacité énergétique dans d'autres secteurs. Toutefois, nous réalisons une simulation supplémentaire qui permet de quantifier l'effet lié à la baisse des importations d'énergies fossiles.

Concernant l'effet du plan d'investissement sur la productivité et l'attractivité de la France, on peut notamment penser à l'impact du déploiement des technologies numériques sur la productivité du travail et du capital, qu'on suppose inchangée dans ces scénarios. De même, l'amélioration de la desserte en transports en commun, le développement du réseau de pistes cyclables, et la diminution corolaire de la

pollution liée à l'usage des véhicules à essence sont susceptibles d'avoir un effet positif majeur sur la qualité de vie de la population. Or, cette hausse de la qualité de vie pourrait réduire un certain nombre de coûts économiques majeurs (e.g. dépenses de santé liées aux décès prématurés), en plus d'accroître l'attractivité et la productivité de l'économie française.

Le modèle ne prend également pas en compte les gains d'efficacité dans l'usage des infrastructures qui résulteraient notamment de travaux de maintenance et de rénovation effectués. Par exemple, la rénovation des réseaux gaziers et des réseaux d'eau et d'assainissement peuvent conduire à une réduction importante des taux de fuites et des dépenses en résultant, ainsi qu'à une diminution de l'impact écologique lié à l'usage de ces infrastructures. De même, la maintenance des réseaux routiers permet de réduire la consommation de carburants des véhicules y circulant et de limiter les coûts économiques et écologiques associés. Enfin, l'atténuation des risques de dysfonctionnement des infrastructures peut permettre d'éviter des coûts économiques importants dans les décennies à venir.

La non-prise en compte de ces différents effets suggère que nos simulations tendent plutôt à sous-estimer les bénéfices économiques que des programmes d'investissement en infrastructures pourront générer. Nous présentons ci-après les impacts macroéconomiques et sectoriels simulés pour chacun des scénarios Pro-Techno et Sobriété qu'il faudra donc interpréter à la lumière des hypothèses conservatrices retenues.

2.3. Impacts macroéconomiques

Tout comme dans la partie présentant les montants des investissements additionnels par activité des travaux publics, sont exposés ci-dessous les impacts des scénarios d'investissement sur différents indicateurs économiques clés, en écart au scénario de référence (*i.e.* scénario sans investissement supplémentaire), en moyenne sur des intervalles de 5 ans, pour chacun des volets Réduction, Restauration et Résilience et pour les trois volets réunis.

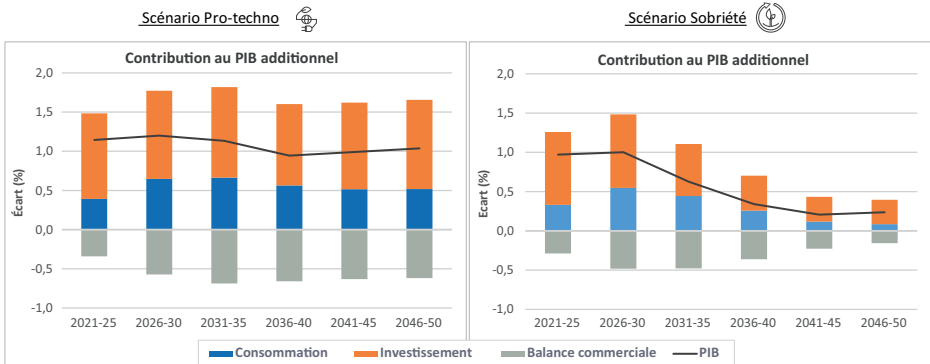
Dans le scénario Pro-Techno, les investissements en infrastructures suivent globalement une trajectoire ascendante entre 2021 et 2050 avec pour effet une hausse soutenue de l'activité économique tout au long de la période. Les investissements additionnels en infrastructures de ce scénario s'élèvent à 26,7 milliards d'euros par an en moyenne

entre 2021 et 2050, ce qui représente environ 0,9 % du PIB tendanciel de la France (*i.e.* dans scénario de référence). Dans le scénario Sobriété, les investissements additionnels en infrastructures s'élèvent à 13,8 milliards d'euros par an en moyenne entre 2021 et 2050, ce qui représente environ 0,5 % du PIB tendanciel de la France. L'effet de multiplicateur se traduit par le fait que la hausse du PIB résultant de chacun de ces scénarios est supérieure à la hausse initiale de l'investissement public. Ainsi, le PIB augmente de 1,1 % dans le scénario Pro-Techno, et de 0,6 % dans le scénario Sobriété.

Dans les deux scénarios, la hausse d'activité induit une dégradation de la balance commerciale du fait des effets de richesse (lié à la hausse des revenus) et de substitution (lié à la hausse des prix) décrits précédemment. Les deux scénarios conduisent en effet à une hausse non négligeable des prix à la production par rapport au scénario de référence (en moyenne 1,5 % dans le scénario Pro-Techno et 0,9 % dans le scénario Sobriété sur 2021-2050), qui se répercute sur les prix à la consommation et sur les prix des exportations. Ces hausses de prix sont une conséquence de la boucle prix-salaires : la hausse de l'emploi induite par les investissements additionnels en infrastructures entraîne successivement une augmentation des salaires, des prix à la production et des prix à la consommation, puis de nouveau une augmentation des salaires en réponse à la hausse des prix. Si le prix des exportations augmente dans les deux scénarios, le prix des importations reste en revanche inchangé puisque ces simulations ne prennent pas en compte d'hypothèse sur l'évolution de la production dans le reste du monde.

La dégradation de la balance commerciale est logiquement plus marquée dans le scénario Pro-Techno où l'impulsion économique est plus forte que dans le scénario Sobriété, en particulier après 2030. Ainsi, dans le scénario Pro-Techno, les importations augmentent de 1 % en moyenne sur la période 2021-2025 et de 1,4 % sur 2030-2050, contre 0,9 % et 0,6 % respectivement dans le scénario Sobriété. Sur ces deux mêmes périodes, les exportations diminuent de 0,1 % puis de 0,8 % dans le scénario Pro-Techno, contre 0,1 % et 0,5 % dans le scénario Sobriété. Cette dégradation de la balance commerciale a comptablement une contribution négative à l'évolution du PIB. Cet effet est de même ampleur dans les deux scénarios sur 2021-2025 (-0,3 % par rapport au scénario de référence), mais devient plus marqué dans le scénario Pro-Techno sur 2030-2050 (-0,6 % par rapport au scénario de référence, contre -0,3 % dans le scénario Sobriété).

Graphique 4. Contribution de la consommation, de l'investissement et de la balance commerciale au PIB additionnel dans les deux scénarios



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

En prenant en compte l'ensemble des effets (multiplicateurs et inflationnistes), le scénario Pro-Techno entraîne une hausse de PIB de 1,2 % en moyenne sur 2021-2030 et de 1 % sur 2030-2050, par rapport au scénario de référence. Dans le scénario Sobriété, la hausse du PIB est comparable sur 2021-2030 (1 % par rapport au scénario de référence), mais plus faible sur 2030-2050 (0,4 %).

Les effets positifs sur l'activité économique générés par ces deux scénarios font que la hausse du déficit public est modérée par rapport à l'ampleur du plan d'investissement : en moyenne + 0,2 point de PIB par an dans le scénario Pro-Techno et + 0,1 point de PIB par an dans le scénario Sobriété. Dans les deux scénarios, le déficit public augmente davantage dans les trois premières années en raison de la hausse des dépenses publiques, mais est rapidement résorbé après 2024 à mesure que se concrétisent les retombées économiques des investissements en infrastructures.

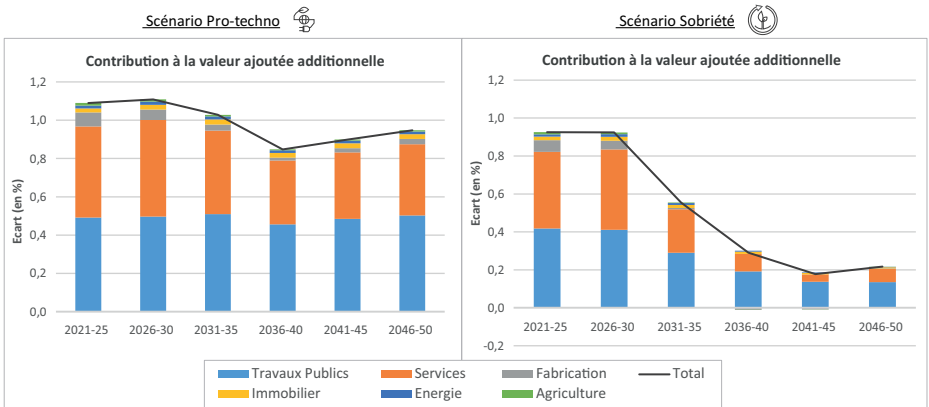
2.4. Résultats sectoriels

Impacts sur la valeur ajoutée

La décomposition des secteurs bénéficiaires de la hausse du PIB peut se voir dans la valeur ajoutée qui permet de mettre en évidence la traduction de cet impact du côté de l'offre. Cette décomposition montre que le secteur des travaux publics est l'un des principaux bénéficiaires dans les deux scénarios mais d'autres secteurs contribuent de manière non négligeable à la hausse de la valeur ajoutée. Ainsi, dans les

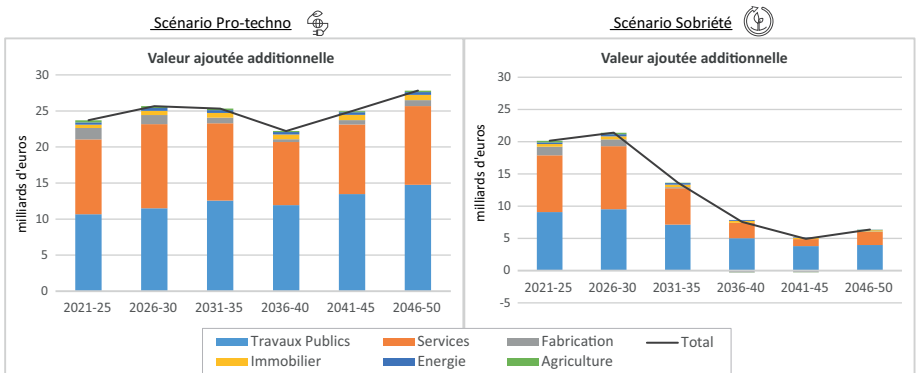
deux scénarios, la hausse de la valeur ajoutée concerne non seulement le secteur des travaux publics mais également le secteur des services. Ceci s'explique par le fait que le secteur des services est le principal fournisseur du secteur des travaux publics. La hausse d'investissement en infrastructures entraîne donc une hausse soutenue de l'activité et de l'emploi dans ce secteur. D'autres secteurs bénéficient, dans une moindre mesure, de la hausse d'activité induite par ces scénarios d'investissement – principalement le secteur de la fabrication, le secteur immobilier et l'agriculture. Dans le scénario Sobriété, on observe une légère baisse de la valeur ajoutée dans le secteur de la fabrication entre 2036 et 2045, mais celle-ci est compensée au niveau agrégé.

Graphique 5. Contribution des différents secteurs d'activité à la valeur ajoutée additionnelle dans les deux scénarios



Calculs des auteurs avec le modèle Threeem.

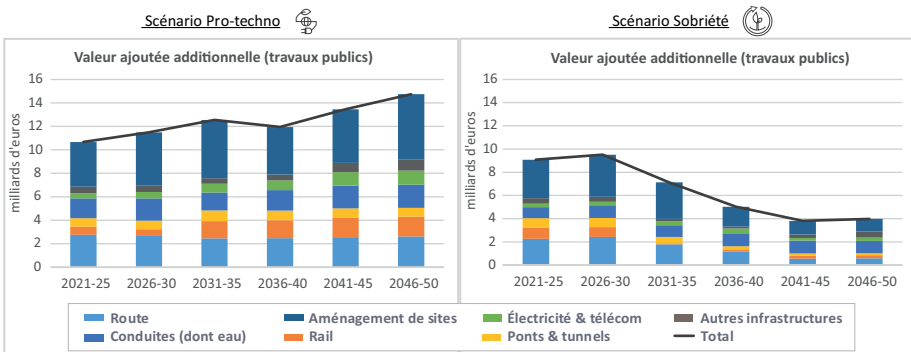
Graphique 6. Valeur ajoutée additionnelle par scénario et par secteur d'activité



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

Au sein du secteur des travaux publics, les différents segments d'activité correspondent de manière différenciée à la hausse de la valeur ajoutée, suivant leur poids relatif dans l'investissement en infrastructures (graphique 7). Ainsi, le secteur de l'aménagement de sites contribue à hauteur de 42 % de la hausse de valeur ajoutée du secteur des travaux publics sur 2021-2050 dans les deux scénarios, tandis que les autres secteurs ont une contribution plus limitée (20 % pour le secteur de la route, 15 % pour le secteur des conduites, et environ 10 % pour la construction de ponts et de tunnels). La contribution du secteur de la route tend à diminuer après 2030 dans les deux scénarios, et plus particulièrement dans le scénario Sobriété (passant de 2,3 milliards sur 2021-2030 à 1 milliard supplémentaire sur 2031-2050). Dans le scénario Pro-Techno, le secteur ferroviaire et les travaux électriques contribuent de plus en plus à la hausse de valeur ajoutée après 2030, mais de moins en moins dans le scénario Sobriété (pour le ferroviaire en particulier).

Graphique 7. Valeur ajoutée additionnelle par scénario et par segment d'activité des travaux publics



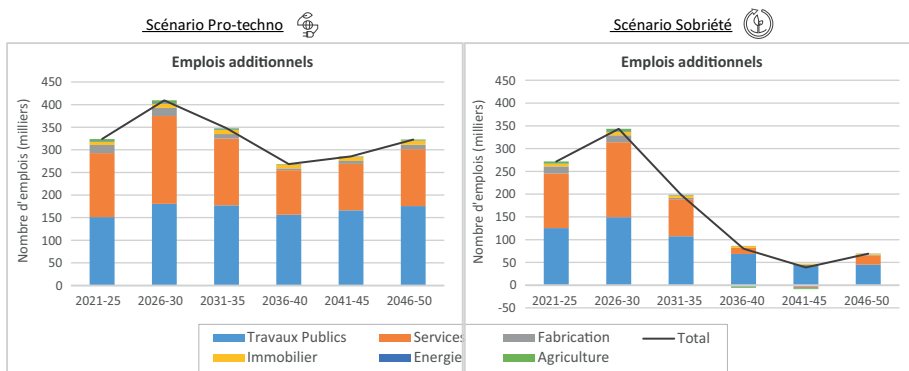
Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

Impacts sur l'emploi

Dans les deux scénarios, les investissements en infrastructures conduisent à une hausse significative du nombre d'emplois dans l'économie française, conséquence de la hausse de valeur ajoutée explicitée précédemment. Le scénario Pro-Techno permet ainsi de créer 325 000 emplois supplémentaires sur la période 2021-2025, et 410 000 emplois supplémentaires entre 2026 et 2030 par rapport au scénario de référence. Le scénario Sobriété génère une hausse de l'emploi similaire sur ces périodes bien que légèrement inférieure

(270 000 emplois supplémentaires sur 2021-2025 et 340 000 sur 2026-2030). À partir de 2030, on observe cependant une divergence importante dans le nombre d'emplois créés. Dans le scénario Pro-Techno, les montants d'investissement se maintiennent à un niveau proche de ceux de la première décennie, ce qui se traduit par une hausse semblable de l'emploi entre 2030 et 2050 (environ 300 000 emplois). À l'inverse, le scénario Sobriété se caractérise par une diminution marquée des investissements à partir de 2030, ce qui conduit, dans les deux décennies suivantes, à une hausse plus limitée de l'emploi par rapport au scénario de référence (200 000 emplois supplémentaires entre 2031 et 2035, puis environ 60 000 emplois supplémentaires sur 2036-2050). Globalement, l'emploi suit donc la trajectoire d'investissement initial en travaux publics. L'impact est positif dans tous les secteurs à l'exception des métiers de la fabrication de produits et de l'agriculture où le nombre d'emplois baisse très légèrement lors de la décennie 2036-2045 (graphique 8).

Graphique 8. Emplois additionnels par scénario et par secteur d'activité

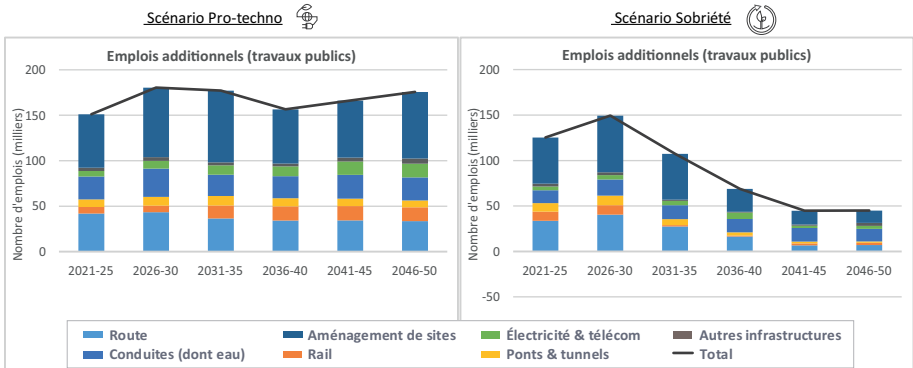


Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

La répartition des emplois au sein du secteur des travaux publics montre que le secteur de l'aménagement de sites est le principal pourvoyeur d'emplois supplémentaires tout au long de la période d'étude et dans les deux scénarios (graphique 9). Les autres secteurs sont toutefois affectés de manière différente dans les deux scénarios. Au cours de la première décennie, l'emploi créé dans le secteur ferroviaire et des travaux électriques est d'abord limité dans le scénario Pro-Techno, puis augmente de manière continue dans les décennies suivantes. À l'inverse, dans le scénario Sobriété, les travaux ferroviaires et électriques

sont parmi les secteurs où la hausse de l'emploi est la plus marquée entre 2021 et 2030 mais celle-ci s'atténue fortement dans les deux décennies suivantes. Dans le secteur de la route, la hausse d'emploi se maintient à un niveau constant dans le scénario Pro-Techno mais diminue fortement dans le scénario Sobriété à partir de 2030.

Graphique 9. Emplois additionnels par scénario et par segment d'activité des travaux publics



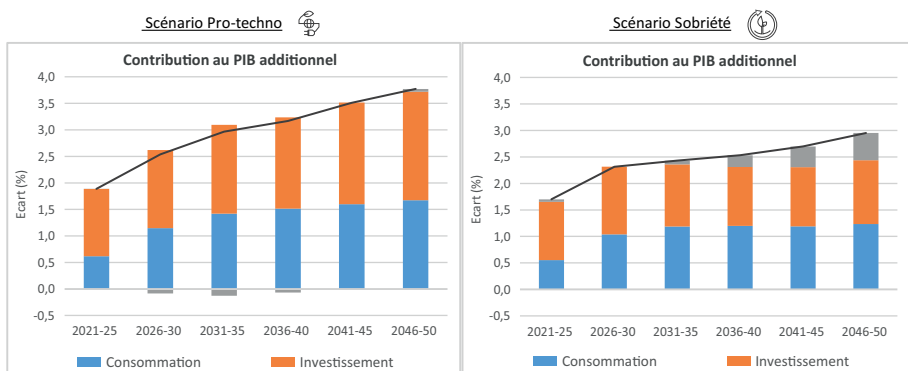
2.5. Impacts de la réduction des importations d'énergie

Il faut bien garder à l'esprit que les politiques de lutte contre le changement climatique ne se limitent pas au secteur des travaux publics. À titre d'exemple, les deux scénarios considérés conduiraient à une diminution drastique des importations d'énergie fossile (du fait notamment du développement des capacités de production d'énergie renouvelable sur le territoire national et d'une diminution de la consommation d'énergies fossiles) qui auront un effet positif majeur sur la balance commerciale. Nous faisons ici l'hypothèse d'une réduction de 75 % des importations d'énergie de la France à l'horizon 2050, conformément à la trajectoire d'évolution du *mix* énergétique supposée dans les scénarios Pro-Techno et Sobriété. Cette « souveraineté énergétique » induit un effet positif sur la balance commerciale et donc sur l'économie française qui n'est pas pris en compte dans les simulations présentées ci-dessus.

En prenant en compte cet effet, les bénéfices des deux scénarios d'investissement se révèlent largement supérieurs, tant du point de vue du PIB, du chiffre d'affaires que de l'emploi (graphiques 10 et 11). De plus, on constate que là où les effets positifs de ces investissements

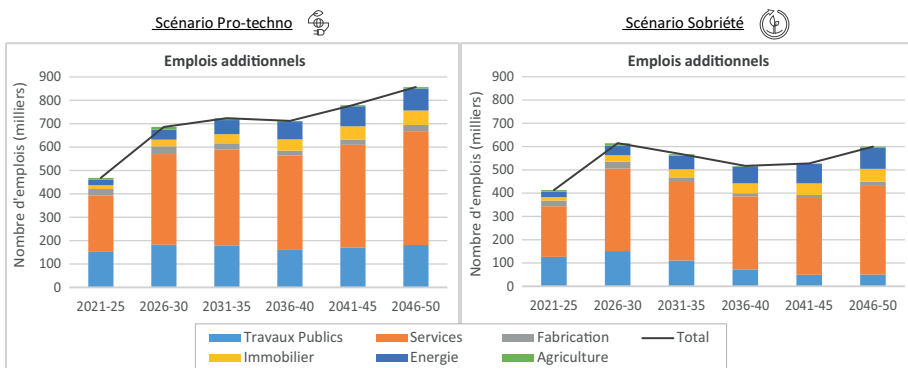
avaient tendance à s’atténuer dans le scénario Sobriété en l’absence d’hypothèse sur les importations, ces effets apparaissent durables et soutenus lorsque l’on prend en compte cette hypothèse. Les différences d’impact économique entre les deux scénarios après 2030 et 2050 sont donc aussi à mettre en perspective avec une plus grande indépendance énergétique qui constitue un facteur supplémentaire de soutien à l’activité économique et à l’emploi dans les deux scénarios. En particulier, la balance commerciale s’améliore considérablement après 2030 dans le scénario Sobriété, par rapport au scénario de référence. Dans le scénario Pro-Techno, cette amélioration de la balance commerciale survient également mais est néanmoins beaucoup plus mesurée.

Graphique 10. Contribution de la consommation, de l’investissement et de la balance commerciale au PIB additionnel avec l’hypothèse de diminution des importations d’énergie



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

Graphique 11. Emplois additionnels par scénario et par secteur d’activité avec l’hypothèse de diminution des importations d’énergie



Calculs des auteurs avec le modèle ThreeME.

3. Conclusion et perspectives

Tant dans un scénario Pro-Techno que dans un scénario Sobriété, l'atteinte des objectifs de la SNBC pourrait nécessiter une hausse des investissements et en particulier des investissements en infrastructures. Bien que ces investissements puissent être réalisés en partie ou en totalité par le secteur privé, l'étude menée dans le présent article se concentre sur le cas d'investissements dans les travaux publics et ignore en particulier les besoins d'investissement dans les équipements privés (e.g. logements, industrie, etc.). La hausse des investissements considérée a un effet positif sur l'activité économique en France, conséquence du fait que les investissements en infrastructures sont en grande partie produits par l'économie nationale :

- Les impacts économiques des scénarios Pro-Techno et Sobriété sont comparables entre 2021 et 2030. Ils divergent significativement après 2030 à l'image des trajectoires différentes des plans d'investissement dans les deux scénarios ;
- Dans les deux scénarios, les investissements en infrastructures produisent une hausse d'environ 1 point de PIB par rapport au scénario de référence pendant la première décennie, et génèrent entre 330 000 et 400 000 emplois supplémentaires selon le scénario. Par la suite, sur la période 2030-2050, les impacts économiques apparaissent plus importants dans le scénario Pro-Techno que dans le scénario Sobriété. Le scénario Pro-Techno induit une hausse de PIB proche de 1,2 % par rapport au scénario de référence, tout comme dans la décennie précédente alors que dans le scénario Sobriété, la hausse de PIB s'atténue fortement bien que restant non négligeable (autour de 0,4 % par rapport au scénario de référence). Sur cette même période, la hausse de l'emploi se maintient autour de 300 000 emplois supplémentaires dans le scénario Pro-Techno mais devient plus modérée dans le scénario Sobriété (entre 50 000 et 150 000 emplois additionnels) ;
- Près de la moitié des emplois sont créés dans les secteurs des Travaux Publics (TP). Cela met en évidence l'effet d'entraînement des TP sur le reste de l'économie, en particulier sur les secteurs des services, principaux bénéficiaires des emplois créés restants ;
- Ces effets positifs sur l'activité économique induisent une hausse relativement faible du déficit public par rapport à l'ampleur du plan d'investissement : en moyenne + 0,2 point de PIB par an

dans le scénario Pro-Techno et + 0,1 point de PIB par an dans le scénario Sobriété, alors que le plan d'investissement dans ces scénarios est respectivement de 0,9 et 0,5 point de PIB en moyenne.

Il est probable que les effets économiques positifs des plans d'investissement en infrastructures soient sous-estimés. Afin de focaliser l'analyse sur les TP, des hypothèses prudentes ont été retenues et certains impacts n'ont pas été considérés :

- Les coûts liés au changement climatique évités ne sont pas inclus. Or, la politique de lutte contre le changement climatique est en premier lieu motivée par l'évitement des dommages futurs dont les montants estimés dépassent largement les investissements en jeu dans la présente étude. Une étude récente de la Fédération Française de l'Assurance estime que le coût économique des aléas climatiques est amené à doubler dans les 30 ans à venir. Les dégâts cumulés causés par des aléas naturels pourraient ainsi s'élever à 143 milliards d'euros sur la période 2020-2050, contre 74 milliards d'euros sur 1989-2019⁸ ;
- L'amélioration de la qualité des infrastructures et leur mise en cohérence avec des objectifs environnementaux soutenables sont susceptibles de générer des externalités économiques positives qui ne sont pas prises en compte ici. Il s'agit notamment de l'augmentation de l'attractivité de la France ou de la productivité des activités économiques ;
- Nous n'avons pas considéré non plus certains impacts économiques positifs liés à la transition bas carbone car ils ne sont pas directement imputables aux scénarios d'investissement en infrastructures considérés ici : par exemple, les investissements d'efficacité énergétique dans les autres secteurs, ou encore l'activité économique en dehors des TP générée par le développement des énergies renouvelables. Or ces impacts sont potentiellement importants comme le fait apparaître notre simulation d'une réduction des importations d'énergie fossile qui aboutit à une hausse du PIB d'environ deux points supplémentaires ;

8. Fédération Française de l'Assurance, octobre 2021, *Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050*, p. 29. https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/VF_France-Assureurs_Impact-du-changement-climatique-2050.pdf

- Enfin, nous n'avons pas pris en compte les bénéfices liés à l'amélioration de l'indépendance énergétique que permet la transition bas carbone dans un pays importateur d'énergie fossile comme la France. Cet effet se révèle de plus en plus pertinent du fait de la baisse continue du coût des énergies renouvelables alors que ces dernières années sont marquées par une forte volatilité du prix des énergies fossiles.

Les impacts économiques agrégés simulés sont relativement similaires entre les scénarios Pro-Techno et Sobriété bien qu'une divergence apparaisse surtout après 2030. Cette dernière est la traduction directe de montants d'investissements plus importants dans le scénario Pro-Techno qui génèrent donc une activité économique supérieure. Il faut toutefois garder à l'esprit que notre simulation n'intègre pas l'ensemble des effets économiques sous-jacents à chaque scénario. Le choix entre les scénarios Pro-Techno et Sobriété ne peut donc se faire uniquement sur la base de la différence en termes d'impacts directs de PIB. C'est avant tout un choix sociétal et donc politique :

- Les scénarios Pro-Techno et Sobriété impliquent des choix d'investissement en infrastructures très différents après 2030, qui sont le reflet de deux choix de société distincts. Le scénario Pro-Techno repose essentiellement sur des innovations technologiques pour réaliser la transition écologique de la France, impliquant une hausse soutenue de l'investissement jusqu'en 2050, tandis que le scénario Sobriété repose davantage sur des actions de restauration des milieux et d'adaptation aux impacts du changement climatique après 2030, impliquant une hausse plus limitée de l'investissement après cette date mais également des changements sociétaux et comportementaux majeurs (baisse de la consommation notamment) ;
- Certains effets importants contingents à chaque scénario ne sont pas considérés dans les simulations. Il s'agit notamment des bénéfices liés aux « biens publics » que sont la restauration des espaces naturels, la pollution de l'air, la pollution sonore. Ces derniers peuvent avoir un impact considérable sur l'économie, le bien-être social et l'environnement ;
- Ainsi, le scénario Sobriété, dans lequel les infrastructures lourdes occupent une place moins importante au profit d'actions de restauration écologique et d'infrastructures vertes, est susceptible

de générer des bénéfices plus importants que le scénario Pro-Techno sur ces aspects.

Si nos simulations font apparaître des effets économiques positifs notamment sur l'emploi, les scénarios Pro-Techno et Sobriété impliquent des mutations dans les différents secteurs de l'économie en particulier dans les secteurs des TP :

- Nos simulations mettent en évidence dans différents secteurs une hausse nette de l'emploi. Cela indique que les créations d'emplois dans un secteur donné sont supérieures aux destructions d'emplois dans ce même secteur. Ce résultat n'est possible que si les entreprises parviennent à adapter leurs offres aux nouveaux besoins d'investissement des scénarios Pro-Techno et Sobriété. La question des mutations d'activité et de métiers au sein des secteurs de TP mais aussi des autres secteurs économiques dans chaque scénario bas carbone est donc une question-clé ;
- Les plans d'investissements en infrastructures compatibles avec une stratégie bas carbone impliqueront très certainement des besoins de formation à de nouveaux métiers, des modifications d'activité dans les secteurs des TP ou des adaptations des marchés publics qu'il est important d'anticiper. À défaut les besoins d'investissement en infrastructures liés à la transition bas carbone se trouveraient contraints par une offre inadaptée ;
- Cette question de la mutation des activités et des métiers en particulier dans les TP, qui est d'ordre microéconomique, n'a pas été traitée ici. Elle constituerait une étude complémentaire et particulièrement pertinente au travail actuel.

Si la hausse de l'activité permet de limiter la dégradation des comptes publics, la question du financement d'un tel plan d'investissement en infrastructures se pose, d'autant plus dans le contexte de la hausse de l'endettement public à la suite de la crise de la Covid-19 :

- Les hauts niveaux d'endettement en France et en Europe accumulés depuis la crise financière de 2008 et la crise de la Covid-19 risquent de peser sur les choix d'investissement en infrastructures à venir,
- Un consensus semble toutefois émerger sur la nécessité de financer en priorité les investissements bas-carbone. Cette stratégie est vue à la fois comme une mesure de soutien à l'activité

économique dans un contexte de crise et comme une manière de positionner l'Europe comme un des leaders concernant les technologies du futur ;

- La mise en œuvre des projets d'infrastructure sera probablement conditionnée par leur compatibilité avec un scénario de transition bas carbone. Leur financement pourrait alors bénéficier des revenus générés par la création des nouvelles ressources qui sont en discussion telles que la taxe carbone nationale ou un mécanisme européen d'ajustement carbone aux frontières ;
- La question du financement mériterait un plus long développement et notamment une mise en perspective au niveau européen et une approche plus détaillée sur les modalités possibles de financement. L'État devra prendre sa part de l'effort supplémentaire mais aussi inciter fortement les autres acteurs (collectivités territoriales, opérateurs publics ou privés) à investir dans les infrastructures. Il y a trois principales modalités de financement possibles : directement par le contribuable (*via* une hausse d'impôt ou la réduction d'autres dépenses publiques), par l'utilisateur (*via* des redevances ou péages), ou par la hausse de la dette publique. Le développement de modes de financement innovants pourrait aussi bénéficier aux politiques d'infrastructures. Dans le domaine de la gestion de l'eau par exemple, des dispositifs d'aide ou de redevances liés aux services rendus peuvent être envisagés de manière à ce que des usagers ou collectivités puissent financer en commun des actions de protection des milieux aquatiques ou de prévention des aléas naturels : e.g. aménagement de zones d'expansion de crues, forages alternatifs pour protéger une nappe phréatique surexploitée, entretien des voiries, soutien à des pratiques agricoles moins polluantes ou favorisant la recharge de nappes, etc.

Références

- Bulavskaya T. et Reynès, F., 2018, « Job creation and economic impact of renewable energy in the Netherlands », *Renewable energy*, n° 119, p. 528-538.
- Callonnec G., Landa Rivera G., Malliet P., Saussay A. et Reynès F., 2016, « Les propriétés dynamiques et de long terme du modèle ThreeME »,

- Observations et diagnostics économiques. Revue de l'OFCE*, Vol.149 (5), p. 47-99.
- Carbone 4, 2022, *Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation*.
- Carbone 4, OFCE, NEO, 2021, *Le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone et l'adaptation au changement climatique de la France*.
- Fédération Française de l'Assurance, 2021, *Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050*, p. 29. https://www.franceassureurs.fr/wp-content/uploads/VF_France-Assureurs_Impact-du-changement-climatique-2050.pdf
- Haasnoot M., Van Aalst M., Rozenberg J., Dominique K., Mattheus J., Kind J. et LeRoy Poff N., 2020, « Investments under non-stationarity: economic evaluation of adaptation pathways », *Climatic change*, Vol.161 (3), p. 451-463.
- Hainaut H. et Ledez M., 2019, *Besoins d'investissement SNBC & PPE*, I4CE.
- Hainaut H., Ledez M., Perrier Q., Leguet B. et Geoffron P., 2020, « Relance : comment financer l'action climat », I4CE.
- Hamdi-Cherif M., O'Broin E. et Li J., 2021, « The transportation sector as a lever for reducing long-term mitigation costs in China », *Climate Policy*, published online 18 Feb 2021. doi.org/10.1080/14693062.2020.1867491
- IEA, 2012, *Energy Technology Perspectives*, OECD Publishing, Paris.
- Kennedy C. et Corfee-Morlot J., 2013, « Past performance and future needs for low carbon climate resilient infrastructure– An investment perspective », *Energy policy*, Vol. 59, p. 773-783.
- Landa G., Malliet P., Reynès F. et Saussay A., 2018, « The state of applied environmental macroeconomics », *Revue de l'OFCE*, n° 157.
- Malliet P., Reynès F., Landa G., Hamdi-Cherif M. et Saussay A., 2020, « Assessing Short-Term and Long-Term Economic and Environmental Effects of the Covid-19 Crisis in France », *Environmental & resource economics*, Vol. 76 (4), p. 867-883.
- Millner A. et Dietz S., 2015, « Adaptation to climate change and economic growth in developing countries », *Environment and Development Economics*, Vol. 20, n° 3, pp. 380-406.
- NACE Rev. 2, 2008, « Statistical classification of economic activities in the European Community », *Eurostat, Methodologies and Working papers. European Commission*.
- OECD, 2006, *Infrastructure to 2030: Telecom, Land Transport, Water and Electricity*, OECD Publishing, Paris.
- OECD, 2012, *Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030*, OECD Publishing, Paris.
- Rozenberg J., Fay M. (Eds), 2019, *Beyond the Gap : How Countries Can Afford the Infrastructure They Need while Protecting the Planet. Sustainable*

Infrastructure. Washington, DC, World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31291> License: CC BY 3.0 IGO

- Schürenberg-Frosch H., 2014, « Improving Africa's Roads: Modelling Infrastructure Investment and Its Effect on Sectoral Production Behaviour », *Development policy review*, Vol. 32 (3), p. 327-353.
- Schweikert A., Chinowsky P., Kwiatkowski K. et Espinet X., 2014, « The infrastructure planning support system: Analyzing the impact of climate change on road infrastructure and development », *Transport policy*, Vol. 35, p. 146-153.
- Vogt-Schilb A., Meunier G. et Hallegatte S., 2018, « When starting with the most expensive option makes sense: Optimal timing, cost and sectoral allocation of abatement investment », *Journal of environmental economics and management*, Vol. 88, p. 210-233.
- Waisman H., Guivarch C., Grazi F. et Hourcade J.-C., 2012, « The Imacim-R model: infrastructures, technical inertia and the costs of low carbon futures under imperfect foresight », *Climatic change*, Vol. 114 (1), p. 101-120.

Remerciements

Cet article est basé sur un travail effectué dans le cadre d'une étude intitulée « Le rôle des infrastructures dans la transition bas-carbone et l'adaptation au changement climatique de la France » et réalisée par Carbone 4, l'OFCE et NEO. En particulier, ce travail utilise les résultats du chapitre 1 rédigé par Carbone 4 et intitulé « Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation ».

Cette étude a été rendue possible grâce au concours (données d'activités, entretiens d'experts et financement) de la Fédération Nationale des Travaux Publics.

Les auteurs remercient également I4CE et l'ADEME pour les données et éclairages apportés tout au long de cette étude.

ANNEXE

Narratifs des scénarios Pro-techno et Sobriété

	Pro-Techno	Sobriété
Axes structurants	Miser sur des innovations technologiques qui alimentent la croissance du PIB et de la consommation tout en diminuant significativement les impacts environnementaux	Miser sur des évolutions sociales et sociétales , accompagnée d'une diminution pilotée de la consommation
Philosophie générale	<p>Hausse des flux entrants (ressources et énergie)</p> <p>Découplage entre PIB et consommations de ressources et des impacts environnementaux</p> <p>Économie mondiale spécialisée, progrès technique, technologie, investissements, mobilité forte</p> 	<p>Baisse des flux entrants (ressources et énergie)</p> <p>Diminution pilotée de la consommation, fléchage vers les secteurs essentiels à la transition bas-carbone et à l'emploi</p> <p>Circuits courts, économie circulaire, transition vers une économie de la fonctionnalité, mobilité douce</p> 
Climat	Changement climatique stoppé sous la barre des +2°C d'ici la fin du siècle Anticipation et atténuation de la plupart des événements climatiques extrêmes	
Population	Hausse de la population liée au vieillissement et à la poursuite de l'augmentation de l'espérance de vie	
PIB	Croissance économique significative et maintenue grâce à un découplage entre PIB et émissions qui compense largement la hausse d'activité	Augmentation de l'activité fléchée avant tout vers les secteurs jugés essentiels à la transition bas-carbone de l'économie et à l'emploi
Environnement socio-économique	Hausse de la consommation. Inégalités géographiques et sociales tempérées sans être réduites, par la croissance et la redistribution	Baisse du niveau de consommation moyen. Réduction forte des inégalités via la redistribution et l'organisation autour des secteurs essentiels
Dynamiques territoriales	Poursuite de l'urbanisation et densification des villes, disparité de la connectivité entre centres et périphéries/espaces ruraux et potentielles inégalités sociales associées	Rapprochement entre les zones d'activité et les zones résidentielles, décentralisation et désurbanisation des grandes villes au profit de zones urbaines de petite à moyenne taille et circuits courts
Mobilité	Baisse supérieure à la moyenne historique de l' intensité carbone de l'énergie (véhicule électrique, hydrogène) et efficacité énergétique (motorisation et allègement des véhicules)	Décarbonation par le report modal vers des modes moins carbonés (train, vélos), la hausse du taux de remplissage (mobilité partagée) et dans une moindre mesure la diminution du trafic
Énergie	Découplage PIB-énergie accéléré grâce à la technologie (smart grid), mix majoritairement décarboné, essor des systèmes de capture et séquestration ou utilisation du carbone	Amélioration de l' efficacité énergétique plus modérée et transition vers les ENR, décentralisation de la production d'énergie, sobriété des usages.
Technologie et numérique	Poursuite de la forte hausse du numérique en faveur d'une baisse des émissions et d'économie de ressources. Apparition de multiples nouveaux usages. Augmentation du niveau d'investissement R&D au sein des entreprises	Technologies déployées favorisant la limitation de l'usage de ressources et des émissions. Priorité à la durabilité, la réparation, l'économie collaborative et de la fonctionnalité. Niveaux d'investissement R&D plus modérés et fléchés vers les secteurs les plus carbonés catégorisés services essentiels
Renaturation	Approche productiviste : augmentation modérée des surfaces forestières. Gestion intensive pour maximiser la production et satisfaire la demande des filières bois-construction et bois énergie	Approche conservationniste : augmentation importante des surfaces forestières. Exploitation limitée pour favoriser la croissance naturelle et la protection de la biodiversité
Artificialisation	Demande stable en nouvelles constructions. Impacts de l'artificialisation limités par une modification des pratiques, réutilisation des friches et recours à la désartificialisation	Faible volume de nouvelles constructions, concentrées sur les friches existantes. Peu de nouvelles surfaces artificialisées
CCS	Développement proactif, poussé par des subventions et des investissements importants des acteurs de l'énergie.	Posture attentiste, technologies employées selon les progrès réalisés sur leur efficacité et leur coût.

