

LE RÔLE DES INFRASTRUCTURES DANS LA TRANSITION BAS-CARBONE ET L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE LA FRANCE

Synthèse

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

Auteurs et autrices

› Carbone 4

Hélène Chauviré, Manager, co-responsable du pôle Performance Climat

Alain Grandjean, Associé

Jacques Portalier, Senior Manager

› OFCE-NEO

Frédéric Reynes, Chercheur Associé OFCE et Directeur de NEO International

Alexandre Tourbah, Assistant de Recherche à l'OFCE

Contributeurs et contributrices Carbone 4

Hugues-Marie Aulanier, Théo Girard, Bastien Nossek, Mélodie Pitre, Clément Ramos, Baptiste Rouault, Juliette Sorret, Simon Tapiero, Zénon Vasselin.

Sommaire

Partie 1 – Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation – par Carbone 4	3
I - LES MODES DE VIE DES FRANÇAIS-ES SONT LIES AUX INFRASTRUCTURES DU TERRITOIRE	5
II - LES INFRASTRUCTURES DOIVENT EVOLUER EN COHERENCE DES USAGES DANS UNE TRANSITION BAS-CARBONE POUR ACCROITRE LA RESILIENCE DE LA FRANCE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	6
III - CHAMP D’ACTIONS COUVERT PAR L’ETUDE	9
IV - DEUX SCENARIOS PROSPECTIFS DESSINANT DEUX CHEMINS DE TRANSITION CONTRASTES	11
METHODOLOGIE	13
<i>Démarche pour les volets Réduction et Restauration</i>	13
<i>Démarche pour le volet Résilience</i>	14
V - UN LARGE SPECTRE D’OBJETS TECHNIQUES TRAITES ET AYANT FAIT L’OBJET D’EVALUATIONS	16
VI - TRANSITION BAS-CARBONE ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LE CHOIX D’UN PAYSAGE D’INFRASTRUCTURES TRANSFORME, COHERENT AVEC LE CHEMIN CHOISI POUR LA TRANSFORMATION DES USAGES	18
REDUCTION DES EMISSIONS DE GES : DEUX CHEMINS DE TRANSFORMATIONS DES USAGES ET DEUX PAYSAGES D’INFRASTRUCTURES CONTRASTES	18
<i>La mobilité et ses infrastructures</i>	18
<i>Les infrastructures énergétiques</i>	20
<i>Les infrastructures du numérique</i>	22
<i>Les infrastructures de CCS</i>	22
RESILIENCE : SE PREPARER A FAIRE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	25
LA RESTAURATION DES MILIEUX	28
RECAPITULATIF DES INVESTISSEMENTS POUR LES INFRASTRUCTURES SELON LES 3R	30
VII - GRANDS ENSEIGNEMENTS ET PERSPECTIVES POUR LA REDUCTION DES EMISSIONS, LA RESILIENCE DES INFRASTRUCTURES ET LA RENATURATION	31
 Partie 2 – Impacts économiques - par OFCE-NEO	 35
VIII – IMPACTS ECONOMIQUES	37
INVESTISSEMENTS ADDITIONNELS PAR VOLET ET PAR ACTIVITE DES TRAVAUX PUBLICS.....	38
UTILISATION DU MODELE THREEME	41
PRINCIPALES HYPOTHESES	42
IMPACTS MACROECONOMIQUES	43
RESULTATS SECTORIELS	45
<i>Impacts sur l’emploi</i>	45
<i>Investissements induits</i>	46
<i>Impacts de la réduction des importations d’énergie</i>	47
IX - GRANDS ENSEIGNEMENTS DE L’ETUDE DES IMPACTS ECONOMIQUES	49

Partie 1

Réduction des émissions, Résilience des infrastructures et Renaturation

Par Carbone 4

I - Les modes de vie des françaises et français sont liés aux infrastructures du territoire

Les infrastructures conditionnent en partie nos **modes de vie** : elles permettent l'acheminement de l'eau, l'électricité, le gaz, le haut-débit numérique, et désignent aussi l'ensemble des infrastructures linéaires de transports (routier, ferroviaire, fluvial...) qui permettent aux biens d'être transportés et aux personnes de se déplacer. Elles sont ainsi une pierre angulaire du bon fonctionnement de nos économies et de nos territoires.

Mais elles sont étroitement liées au dérèglement du climat, au moins sur deux aspects :

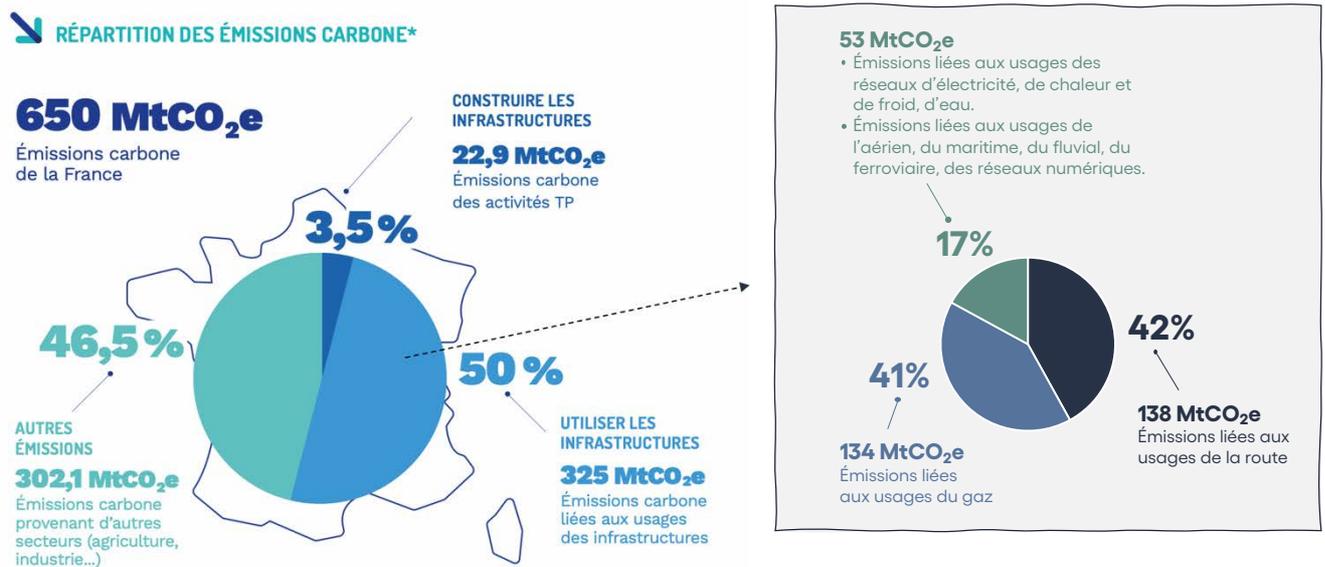
- ✓ D'abord, en complément de leur construction, les usages des infrastructures génèrent des **émissions de gaz à effet de serre sur une longue période de temps**, du fait de leur durée d'exploitation. C'est ce qu'on appelle le phénomène des « émissions embarquées » ou « locked-in emissions » : **les infrastructures sont évidemment indissociables de leur usage et doivent accompagner la réduction des émissions de gaz à effet de serre.**
- ✓ Enfin, elles sont elles-mêmes de plus en plus impactées par le changement climatique : elles sont **exposées à des risques physiques et par conséquent à des dégradations, voire des destructions, ou à des ruptures de services.** Les infrastructures de transport sont parmi les premières concernées par les impacts physiques de la dérive climatique. Ainsi, les routes, lignes ferroviaires, ports et aéroports, sont aux premières lignes en ce qui concerne les événements climatiques extrêmes (tempêtes, inondations, sécheresses, vagues de chaleur). Les autres infrastructures comme les réseaux d'eau, de transport d'électricité le sont aussi, mais à un moindre degré comme l'a mis en évidence cette étude. Certaines infrastructures doivent être aussi **redimensionnées afin de conserver leur rôle de protection (digues, perrés, ...) dans un contexte d'aléas climatiques d'intensité croissante.**

Définition des infrastructures dans le cadre de cette étude :

Les infrastructures sont l'ensemble des installations, ouvrages et équipements qui conditionnent l'activité économique de la France, et dont le donneur d'ordre est généralement la puissance publique, à tous les échelons territoriaux. Sont considérées dans cette étude les infrastructures liées à la mobilité, à l'énergie, au numérique, à l'eau, ainsi que les ouvrages de protection, à destination des zones urbaines et plus généralement du territoire métropolitain. Les bâtiments ne font pas partie de ce périmètre.

II - Les infrastructures doivent évoluer en cohérence des usages dans une transition bas-carbone pour accroître la résilience de la France face au changement climatique

Au niveau de la France métropolitaine, **les usages associés aux infrastructures représentent 325 MtCO₂e/an (soit 50% de l’empreinte carbone française¹)** ; leur conception, construction et maintenance par les entreprises de Travaux Publics représentant en 2018 environ **22,9 MtCO₂e/an** (scopes 1, 2 et 3 amont des activités des Travaux Publics). Ces calculs sont issus de travaux Carbone 4 pour la FNTP².



La France, à travers la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC³) ne s’est pas fixée d’objectifs en empreinte carbone mais uniquement concernant les émissions sur le territoire (c’est à dire sans compter les émissions associées aux importations). À l’horizon 2050, c’est une division d’un facteur 6 des émissions sur le territoire français, par rapport à 1990, qui est attendue.

¹ L’empreinte carbone de la France (estimée à 663 MtCO₂e en 2019) correspond aux émissions sur le territoire (436MtCO₂e/ an en 2019) plus le solde des émissions dues aux produits importés et exportés (données issues du rapport 2021 - du Haut conseil pour le climat)

² Voir : <https://acteurspourlaplanete.fntp.fr/manifesto>

³ <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>. Adoptée pour la première fois en 2015, la SNBC a été révisée en 2018-2019, en version SNBC 2

Face à ces constats, **Carbone 4** et l'**OFCE-NEO**, appuyés par l'équipe experte et les données de la FNTP, se sont posés les **questions suivantes** :

- ✓ Comment les infrastructures françaises doivent-elles se transformer afin d'accompagner les évolutions des usages ainsi que la décarbonation du pays pour **respecter l'Accord de Paris** ?
- ✓ Comment décrire **deux scénarios crédibles mais contrastés** permettant de parvenir à ces résultats ? Comment les infrastructures sont-elles exposées aux risques physiques liés à la dérive climatique ? Quels **travaux d'adaptation** des infrastructures existantes, et quelles **nouvelles infrastructures d'adaptation** sont nécessaires, afin de prévenir les risques sociaux, humains et environnementaux ?
- ✓ Parallèlement à la question climatique (et au-delà de la question des puits de carbone), les activités des travaux publics peuvent-elles contribuer au maintien et la **restauration des services écosystémiques** ?
- ✓ En synthèse, quel volume **de travaux** serait nécessaire pour préparer les **infrastructures d'une France bas-carbone et résiliente au changement climatique** ? Quels domaines d'activité sont amenés à se développer, ou au contraire à se contracter pour les Travaux Publics ?
- ✓ Et enfin, comment ces scénarios pourraient impacter l'emploi et le PIB⁴ ? Comment cela se répercuterait sur les principaux secteurs ou segments d'activité économiques en France ?

⁴ Produit Intérieur Brut

Cette étude a un caractère prospectif et repose sur l'élaboration de scénarios possibles, contraints par les flux physiques et par le budget carbone de la France défini dans la Stratégie Nationale Bas-Carbone révisée (SNBC 2). Elle est destinée à éclairer un champ des possibles et à nourrir la réflexion des décideuses et décideurs quant au chemin de transformation. Elle ne vise ni à prévoir l'avenir, ni à documenter une décision de manière exhaustive.

Quelques précautions relatives à la méthode et aux données

Cette étude s'attache à une première analyse transversale et couplée de l'évolution des usages et des transformations d'une majeure partie du parc d'infrastructures. Une telle démarche comporte nécessairement certaines limites, notamment en termes de niveau de précision et d'incertitude quant aux chiffrages. Ceux-ci mettent en lumière les ordres de grandeur. La précision des données pourrait être améliorée dans une mise à jour ultérieure, les choix d'hypothèses retenues rediscutées, les informations issues des plus récentes études indépendantes récemment publiées intégrées. Par exemple, cette étude n'a pas du tout pris en compte les enjeux d'autres dimensions comme la disponibilité des ressources et matières premières⁵.

La principale originalité de cette étude est donc d'examiner de manière extrêmement transversale l'ensemble des familles d'infrastructures, et de les regarder sous 3 angles simultanément : leur contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, leur résilience vis à vis des aléas physiques du changement climatique, et la prise en compte de la restauration des écosystèmes.

Les années de références considérées dans cette étude sont, en fonction des données disponibles, 2018, 2019 ou 2020.

Limites de l'étude :

L'approche est relative à la France métropolitaine et n'est pas régionalisée.

L'étude s'appuie sur une grande diversité d'études et publications de référence, ainsi que de sources de données physiques pour chaque secteur analysé. Nous avons constaté cependant une grande différence de maturité de certains domaines par rapport à d'autres (par exemple le domaine de l'électricité très bien documenté, alors que pour le domaine de la renaturation, ou de l'optimisation carbone de la maintenance (cycle de vie de l'ouvrage), moins d'études et de sources bibliographiques sont disponibles).

La maturité des sujets de la restauration des écosystèmes est en particulier plus faible. Ainsi, les ***volumes prospectifs de certaines activités n'ont pu être chiffrés***, par manque de connaissances sur des sujets relativement récents et même sur leurs enjeux, qui sont par essence parfois très locaux et donc difficilement généralisables à l'échelle nationale.

⁵ <https://www.ademe.fr/lademe/priorites-strategiques-missions-lademe/scenarios-2030-2050>

III - Champ d'actions couvert par l'étude

Pour répondre aux questions posées, nous avons structuré l'approche en 3 volets : la **réduction des émissions** des usages des infrastructures, la **résilience de la France et de ses infrastructures**, ainsi que la contribution des Travaux Publics à la **restauration des écosystèmes et milieux naturels**.

Les enjeux climat pour la France se traduisent par l'objectif de neutralité carbone 2050 mais aussi par l'incontournable préparation aux dérèglements climatiques, dont les impacts seront significatifs même dans un "monde à +2°C". Réduire nos émissions et adapter les infrastructures doivent en outre aller de pair avec l'amélioration de la résilience et la restauration des écosystèmes impactés par les activités humaines, auxquelles les activités de Travaux Publics (par exemple le génie écologique) peuvent aussi contribuer.

- ✓ **Réduction** : l'atténuation ou réduction des émissions de la France est le volet majeur de toute stratégie bas-carbone⁶. Elle consiste à accompagner ou permettre la réduction des émissions de certains secteurs et usages (en particulier la mobilité des personnes et le transport des marchandises, l'énergie, les services numériques), par l'évolution des principales infrastructures associées. Ce volet de l'étude vise ainsi à dessiner deux nouveaux paysages d'infrastructures, associés à deux scénarios de transformation des usages (qui sont présentés plus loin), compatibles avec l'objectif de neutralité carbone 2050 de la SNBC 2. Au-delà des travaux destinés à faire évoluer les infrastructures pour réduire les émissions de leurs usages, seront intégrées aussi dans ce volet les nécessaires **activités d'entretien et de maintenance** des dites infrastructures.
- ✓ **Résilience** : les efforts de réduction d'émissions sont nécessaires pour éviter une trop grande perturbation du système climatique. Cependant, la dérive climatique déjà engagée et l'inertie du système est telle que l'ensemble de ces infrastructures sera de toute façon exposé aux impacts physiques d'un changement climatique, avec une vulnérabilité variable selon les aléas climatiques et les infrastructures considérées. L'objet de ce volet de l'étude est d'identifier les "objets" les plus sensibles et exposés, afin de quantifier les activités de travaux publics préventifs et curatifs supplémentaires à opérer afin d'augmenter leur résilience intrinsèque, et ainsi contribuer à éviter des dommages majeurs. Seront aussi identifiées la nature et la volumétrie des nouveaux ouvrages nécessaires à la protection des territoires vis-à-vis des aléas climatiques tels que des digues pour faire face à l'élévation du niveau de la mer ou des solutions vis-à-vis du stress hydrique par exemple.

⁶ Le respect de l'Accord de Paris par la France se traduit par une réduction d'un facteur 6 des émissions territoriales de la France entre 1990 et 2050 (objectif de la SNBC 2)

- ✓ **Restauration** : d'autres activités du secteur des Travaux Publics sont susceptibles d'améliorer localement la résilience au changement climatique (la revégétalisation des villes, par exemple, permet de baisser localement la température de manière significative en cas de fortes chaleurs), mais aussi de réduire notre impact sur les écosystèmes (renaturation des cours d'eau ou d'autres milieux, plantations de haies, transparence écologique des infrastructures linéaires). Elles sont qualifiées puis quantifiées. Ce volet comprend donc aussi le respect d'autres objectifs nationaux, comme celui de Zéro Artificialisation Nette (ZAN) inscrit dans la récente loi Climat et Résilience. "Pour boucler la boucle", nous reviendrons aussi dans ce volet sur les objectifs de la SNBC, mais cette fois sur le pilier de la séquestration du carbone, à la fois avec des solutions basées sur la nature, mais aussi avec des solutions technologiques comme le Captage et Stockage de Carbone (CCS en anglais).

Ainsi, une stratégie climat complète, cohérente et pertinente concernant les infrastructures et le secteur des Travaux Publics pourra être esquissée, à travers des actions de réduction des émissions, des actions d'amélioration de la résilience des territoires, et des actions de séquestration de carbone.

IV - Deux scénarios prospectifs dessinant deux chemins de transition contrastés

Deux scénarios prospectifs, respectant tous les deux les budgets carbone⁷ correspondants à la trajectoire de baisse des émissions de GES de la SNBC 2, ont donc été développés.

- ✓ Le scénario Sobriété cherche à limiter les consommations et donc le recours aux matériaux et à l'énergie. Il suppose des changements de comportement et d'organisation ainsi que des ruptures par rapport aux habitudes généralement valorisées socialement dans un monde vu parfois encore comme sans limite. Ce scénario porte le challenge de l'accompagnement des changements sociaux, culturels et comportementaux, pour en assurer l'acceptabilité.
- ✓ Le scénario Pro-Techno fait la part belle aux évolutions technologiques dont la maturité n'est pas encore démontrée aujourd'hui, et qui limitent la remise en question de nos comportements et nos organisations. Ce scénario porte le challenge de l'arrivée à maturité d'innovations technologiques, de la disponibilité sur certains approvisionnements et de la maîtrise des externalités environnementales.

Ces deux scénarios prospectifs, illustrant deux chemins de transition contrastés, sont le socle du volet de réduction des émissions, et impactent aussi le volet de la restauration des services écosystémiques. Ils décrivent deux visions de la France bas-carbone en 2050, où les infrastructures et leurs usages ont évolué en cohérence, et où des leviers de décarbonation ont été largement développés.

Les points saillants de ces deux scénarios sont détaillés dans l'illustration ci-dessous :

⁷ Maximum d'émissions de gaz à effet de serre cumulée d'ici à 2050

Une transition socio-environnementale, deux narratifs distincts

	 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 , accompagnées d'une diminution pilotée de la consommation
Philosophie générale	<p>Hausse des flux entrants (ressources et énergie)</p> <p>Découplage entre PIB et consommation de ressources et des impacts environnementaux</p> <p>Economie 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
Energie	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

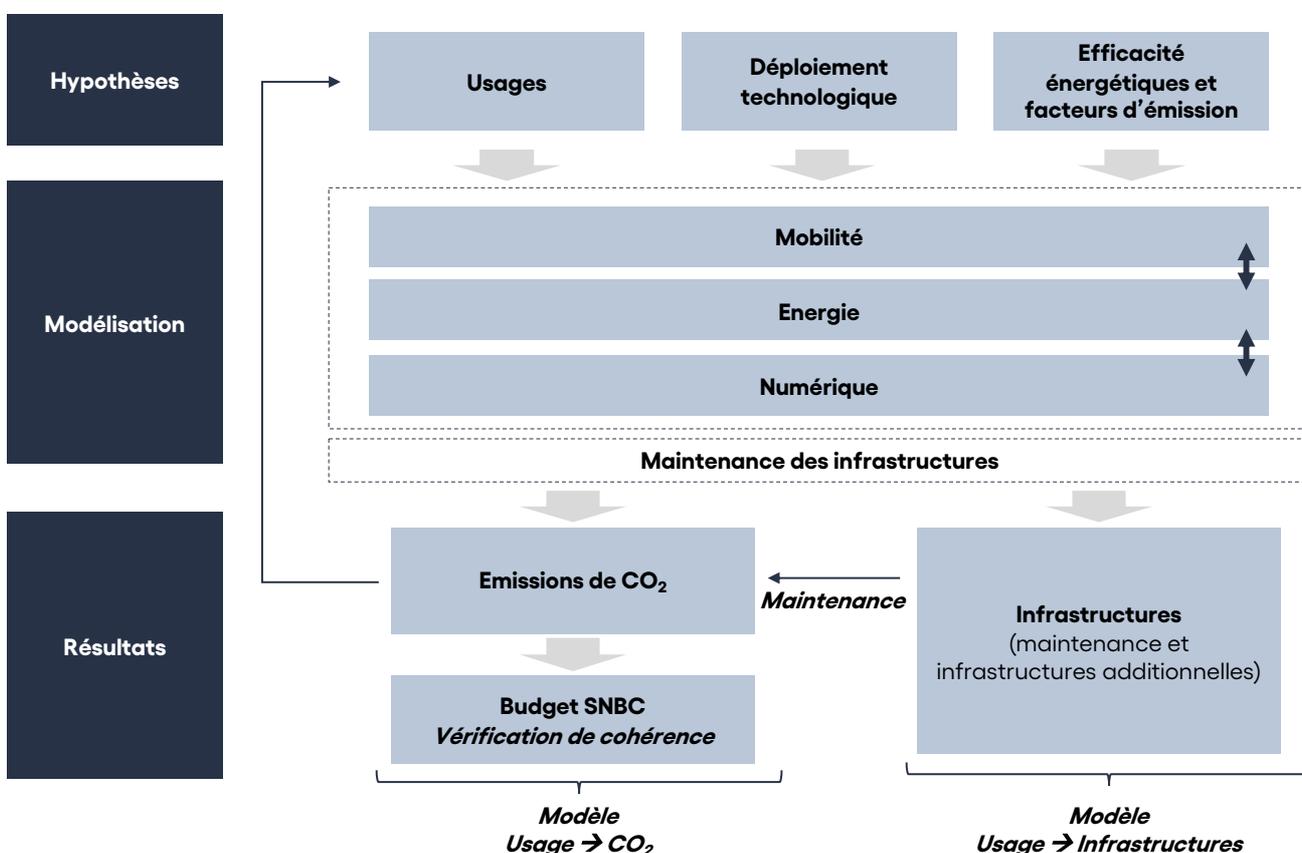
Méthodologie

Démarche pour les volets Réduction et Restauration

Sur la base des différents objectifs climatiques et environnementaux des politiques publiques, et dans les deux scénarios contrastés Sobriété et Pro-Techno la démarche retenue est la suivante :

- ✓ Des hypothèses quantitatives sont fixées par Carbone 4, avec l'appui des expert-es de la FNTP, pour déterminer les évolutions attendues pour les usages, les déploiements technologiques et l'efficacité énergétique.
- ✓ Une traduction en grandeur physique de ces hypothèses permet alors d'établir les quantités physiques d'infrastructures à faire évoluer et à construire sur la période 2020-2050.
- ✓ Ces quantités de travaux sont ensuite converties en montant d'investissements financiers (par Carbone 4 et l'OFCE-NEO), en se basant sur les référentiels de coûts actuels de ces travaux⁸. Et enfin l'OFCE-NEO appuyé par le modèle ThreeMe en déduit l'impact sur le PIB, sur la création d'emplois et sur la valeur ajoutée.

La structure générale du modèle est la suivante :



⁸ L'ensemble des coûts projetés n'intègre pas le coût du capital et n'est pas actualisé

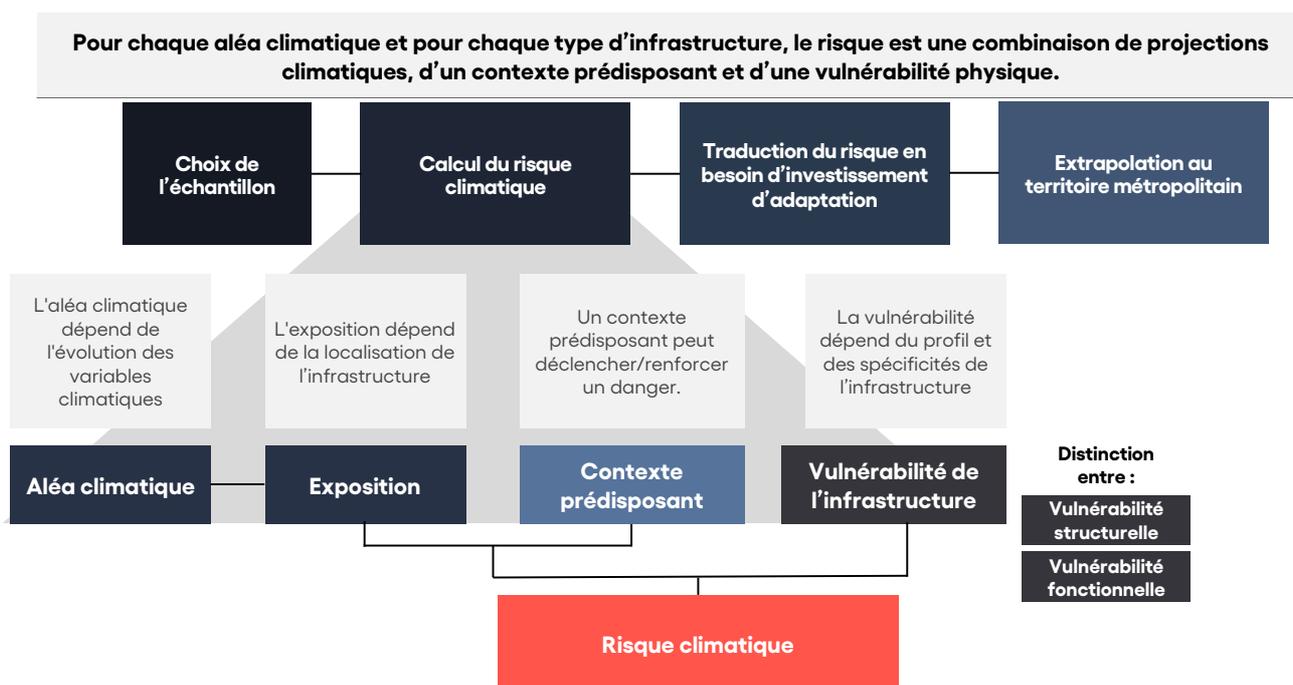
Démarche pour le volet Résilience

Même si la France réduisait drastiquement ses émissions en respectant la SNBC (confère volet réduction ci-dessus), il est malheureusement possible que les autres pays ne suivent pas le même niveau d'engagement. Dès lors, nos infrastructures doivent donc être adaptées à un changement climatique plus important que celui qui serait lié à un scénario 2°C. Pour caractériser les travaux à effectuer, des projections climatiques plus sévères sont alors utilisées⁹.

La première question posée concerne **l'adaptation au changement climatique des infrastructures existantes**. Pour une infrastructure spécifique dans une géographie précise (une route en Gironde, un tunnel à Marseille, un pont à Lyon ...), un calcul de **score de risque climatique** est défini comme une combinaison :

- ✓ du principal aléa climatique auquel l'infrastructure est sensible (en fonction de sa localisation), et des dommages que cet aléa peut faire peser sur l'infrastructure,
- ✓ puis de la vulnérabilité de l'infrastructure, à la fois structurelle (perte d'intégrité de l'infrastructure) et fonctionnelle (perte de l'usage de l'infrastructure : un tunnel est fermé pour cause d'inondation).

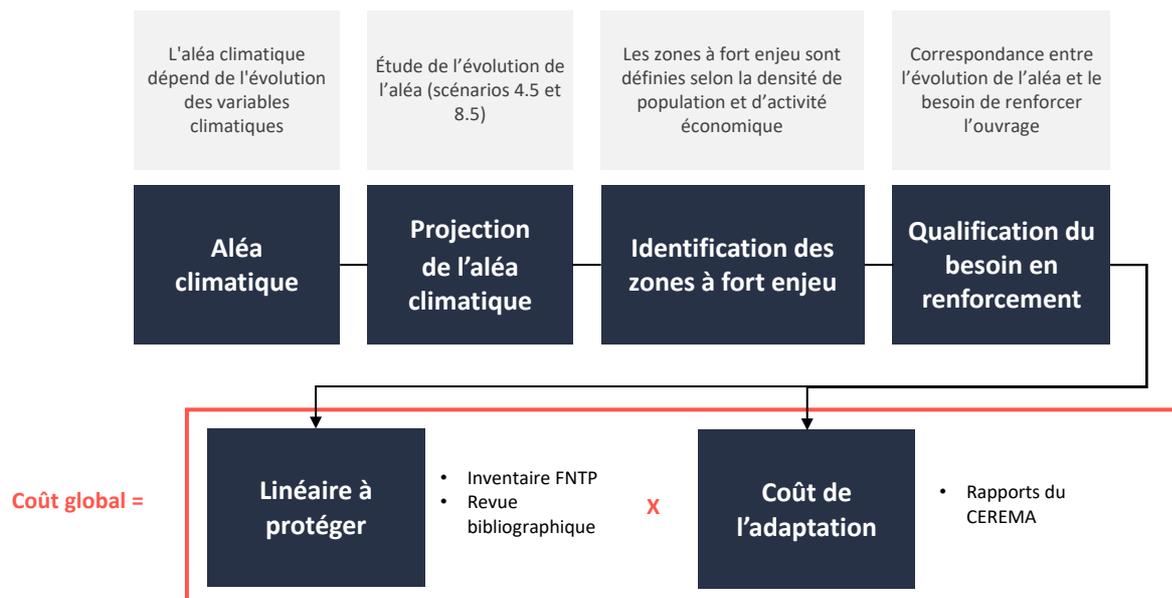
Ce calcul de score climatique est ensuite traduit en besoin d'investissements préventifs ou de dépenses curatives (pour réparer les dégâts), puis extrapolé à l'ensemble du territoire métropolitain pour la famille de l'infrastructure retenue (pour 11 familles d'infrastructures : routes, tunnels, ponts, voies et tunnels ferroviaires, ports, aéroports, réseaux et stations de traitement d'eau, réseaux numériques et électriques).



⁹ Le scénario RCP 8.5 de l'Assessment Report n°5 (2014) du GIEC a été utilisé pour conduire ces travaux

La seconde dimension porte sur la **création de nouveaux ouvrages de protection** : digues ou perrés pour s'adapter à l'érosion et à la submersion du littoral liée à l'élévation du niveau de la mer ou aux inondations fluviales, technologies de recharge de nappes phréatiques pour s'adapter au stress hydrique.

Sur les deux premiers aléas, pour chaque type d'ouvrage, la méthodologie pressentie consistera à traduire les projections climatiques sur les aléas retenus en besoin d'adaptation. Une fois ce travail fait, il s'agira de construire une table de correspondance entre ce besoin et le coût de l'adaptation.



Une dernière dimension concerne le sujet spécifique de l'adaptation au stress hydrique, portant sur les infrastructures de recharge et gestion de nappes, de retenues collinaires, de traitement mais aussi de rénovation des réseaux d'eau pour minimiser le taux de fuites afin de préserver cette ressource rare.

V - Un large spectre d'objets techniques traités et ayant fait l'objet d'évaluations

Sur l'ensemble des volets Réduction, Résilience, et Restauration, une quarantaine de types d'infrastructures ont été identifiées, couvrant la très grande majorité des infrastructures en France.

- ✓ Le volet Réduction considère $\frac{3}{4}$ de ces infrastructures, qui doivent se transformer (s'adapter, se contracter ou se développer) en cohérence avec l'évolution des usages suivant les deux scénarios.
- ✓ Le volet Résilience a permis d'étudier 50% de celles-ci, en projetant les types et niveaux d'impact, les actions curatives ou préventives à réaliser.
- ✓ Le volet Restauration a permis de mettre en avant des actions concernant différents types de milieux (comme des zones urbaines ou les milieux naturels).

Le tableau suivant permet d'avoir une vue d'ensemble du travail effectué.

Rubriques	Infrastructures	Objets traités	Réduction		Résilience		Restauration
			transformation développement	maintenace renouvellement	infras existantes	infras de protection	
Mobilité	Infrastructures routières	Routes (y compris tunnels et ponts)	X	X	X		X
		ERS (électrification de la route)	X	X			
		IRVE (recharge véhicules électriques)	X	X			
		Infrastructure recharge véhicules à hydrogène	X	X			
		Pistes cyclables	X	X			
	Transports Urbains Collectifs	X	X				
	Infrastructures ferroviaires	Ponts ferroviaires			X		
		Rails surface	X	X	X		
		Rails souterrain			X		
	Autres infrastructures	Réseau fluvial	X	X			
Ports Maritimes		X	X	X			
Aéroports			X	X			
Energie	Production d'électricité	PV sol et toiture	X	X			X
		Eolien Onshore et Offshore	X	X			X
		Hydraulique, géothermique, biomasse					
		Nucléaire	X				
	Transport d'électricité	Transport d'électricité / surface	X	X	X		
		Transport d'électricité / souterrain			X		
	Distribution d'électricité	Distribution d'électricité / surface	X	X	X		
		Distribution d'électricité / souterrain			X		
	Gaz	Production de biogaz	X	X			
		Réseaux de transport de gaz	X	X			
		Réseaux de distribution de gaz	X	X			
	Chaleur	Production de chaleur					
		Réseaux de chaleur	X	X			
Hydrogène	Transport et distribution d'hydrogène	X	X				
Numérique		Infrastructures du réseau fixe	X	X			
		Infrastructures du réseau mobile	X	X			
Eau		Réseau de distribution d'eau			X	X	
		Station de traitement de l'eau			X		
		Système de rechargement de nappes phréatiques				X	
		Dispositifs de retenues d'eau				X	
		Cours d'eau					X
Ouvrages de Protection		Digues et brise-lames				X	
		Perrés				X	
		Murs et ouvrages de soutènement				X	
Zones Urbaines		Friches Urbaines et industrielles					X
		Autres surfaces artificialisées					X
		Villes					X
Autres milieux		Milieu forestier					X
		Milieu agricoles					X
		Autres milieux ouverts					X

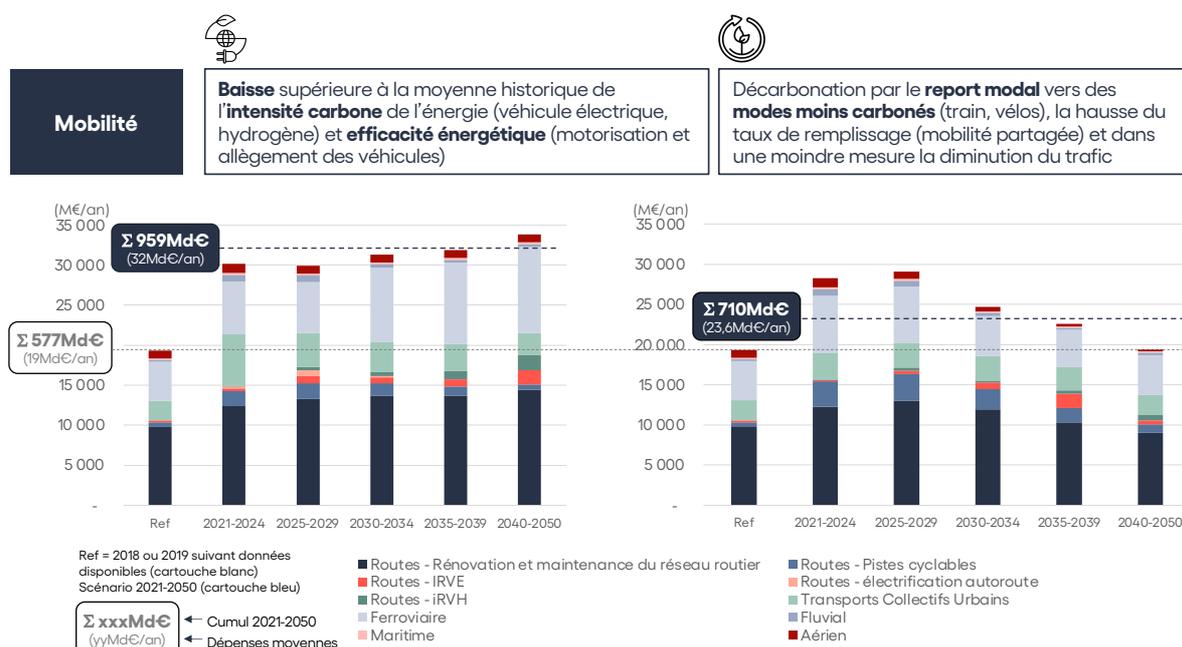
VI - Transition bas-carbone et adaptation au changement climatique : le choix d'un paysage d'infrastructures transformé, cohérent avec le chemin choisi pour la transformation des usages

Pour chacun des trois volets, les principaux enseignements de cette étude sont résumés dans les tableaux de synthèse ci-après.

Réduction des émissions de GES : deux chemins de transformation des usages et deux paysages d'infrastructures contrastés

La mobilité et ses infrastructures

La décarbonation des usages de la route (93% des émissions des transports en France) passe par la transition de carburants fossiles à des carburants ou énergies décarbonés (électricité, biocarburants, bio-gaz, hydrogène bas-carbone) ainsi que par le développement des modes actifs pour les mobilités du quotidien. Les deux scénarios présentent néanmoins des évolutions contrastées, en particulier à partir de 2030.



Dans les deux scénarios, des investissements importants sont affectés à la route. Ils sont essentiellement liés à la maintenance du réseau routier, maintenance dont le volume d'activité est lié au 1er ordre à l'évolution du trafic poids lourd (décarboné ou non). Ces actions de maintenance nécessaires indépendamment d'une stratégie de décarbonation, permettraient d'éviter des surconsommations (de l'ordre de 5% sur des chaussées en mauvais état¹⁰) des véhicules et ainsi de limiter leur consommation d'énergie et leurs émissions. Elle représente un volume d'activité similaire entre les deux scénarios jusqu'en 2030. C'est à partir de cette date que les investissements dans la route diminuent dans le scénario Sobriété, du fait d'une réduction du fret routier.

Le rail est l'autre poste majeur d'investissement pour la mobilité et il contribue directement à la décarbonation de la mobilité des personnes et des marchandises. En effet, ces investissements sont en majeure partie nécessaires pour le développement de la mobilité ferroviaire (personnes et marchandises) qui croît en volume et en part modale dans les deux scénarios. Ceux-ci se différencient par la nature des projets (lignes à grande vitesse et volume important de nouveaux projets dans Pro-Techno, réseau de desserte du territoire et modernisation dans Sobriété) et par le besoin en investissement associé (après 2030) : hausse continue des investissements dans Pro-Techno du fait de la croissance continue du trafic alors que la maîtrise de la demande permet de réduire le besoin en investissement après 2030 dans Sobriété, limitant l'artificialisation des terres et les besoins en renaturation liés au développement des nouvelles infrastructure et limitant aussi le recours aux finances publiques pour les infrastructures ferroviaires.

Les investissements associés aux deux scénarios sont ainsi nettement différenciés :

- ✓ Pro-Techno : en cohérence avec une mobilité routière des passagers et des marchandises accrue, on assiste à un développement soutenu des infrastructures de distribution et de recharge électrique et hydrogène, complétées par des autoroutes électriques (pour le fret) qui pourraient - sous certaines conditions - se développer encore plus massivement que considéré dans cette étude¹¹. Les pistes cyclables se développent aussi dans ce scénario (106 000 km supplémentaires en 2050) permettant le développement des mobilités actives.
- ✓ Sobriété : les évolutions dans l'aménagement du territoire, les modes de vie et la longueur des chaînes logistiques conduisent à un fort report modal, vers le rail et vers les modes actifs avec la construction de 146 000 km de pistes cyclables supplémentaires d'ici 2050. Les infrastructures de recharge électrique principalement (et hydrogène en fin de période) se développent plus modérément, en cohérence avec une mobilité qui connaîtra son pic en 2030.

Le développement de l'usage des transports collectifs urbains¹² (métro, tramways, Bus à Haut Niveau de Service (BHNS¹³)) conduit à une dynamique de développement différenciée suivant les deux scénarios, au-delà des investissements de modernisation et

¹⁰ RGRA 984 dossier empreinte carbone

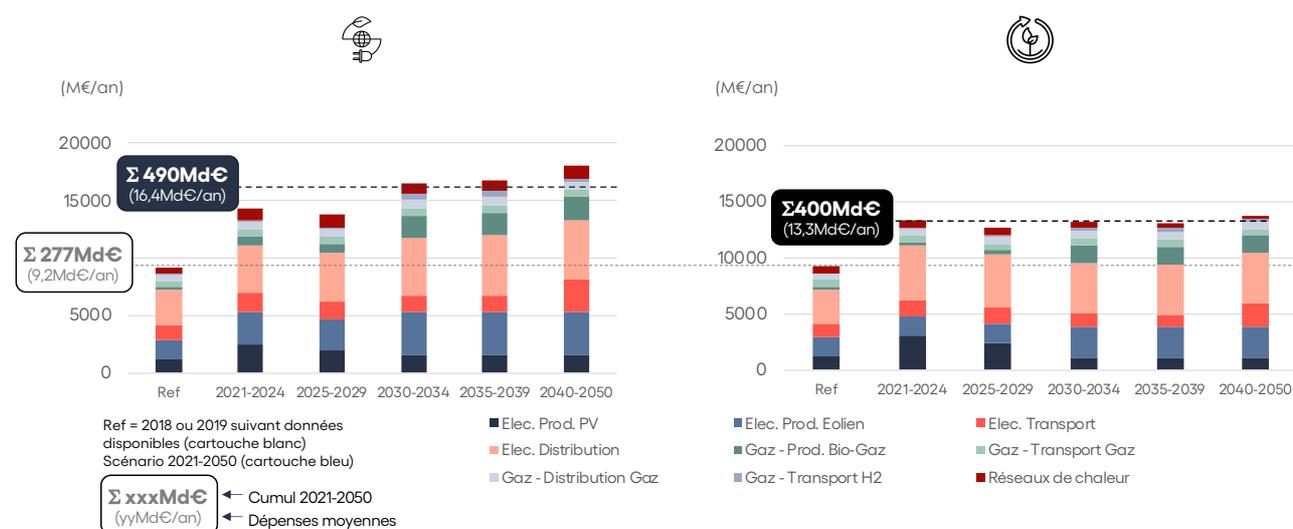
¹¹ <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/GT1%20rapport%20final.pdf>

¹² Les infrastructures associées aux RER et TER Ile de France sont couvertes par le rail

¹³ Bus à haut niveau de service (en site propre dans les projections). Les investissements d'adaptation de la route sont inclus dans la partie route

maintenance des infrastructures existantes. Dans le scénario Sobriété, les développements sont moins importants dans les grandes métropoles (moins de prolongation des lignes de métro) et se réalisent dans les villes moyennes par le développement accéléré de tramways et de BHNS. Dans le scénario Pro-Techno c'est le nouveau réseau du Grand Paris (doublement du linéaire de métro en Ile-de-France) qui capte en premier les nouveaux investissements dans les transports collectifs urbains suivi par les développements dans les grandes métropoles.

Les infrastructures énergétiques



Une première transformation liant transition bas-carbone et infrastructures de l'industrie de l'énergie concerne le méthane (réseaux de transport et distribution, production de bio-gaz).

La majeure partie des émissions dues aux usages des infrastructures énergétiques en France est liée à la combustion du méthane (près de 40% des émissions totales des usages des infrastructures en 2018).

Pour réduire de plus de 70% ces émissions en 2050 par rapport à 2018, l'électrification des usages et l'augmentation de capacités de production de bio-gaz sont nécessaires. En résulte en 2050 une baisse de 60 à 65% de la consommation de gaz (fossile & non-fossile). La production de bio-gaz s'intensifie fortement après 2030 dans les deux scénarios.

Dans Pro-Techno, la production de bio-gaz atteint 170 TWh (pour 0,7 TWh en 2018) contre 125 TWh dans le scénario Sobriété. Le gaz naturel fossile est fortement substitué par du bio-gaz qui est principalement produit par de la méthanisation (plus de 80%), la pyro-gazéification commençant à se développer seulement en fin de période. La consommation de gaz fossile est marginale en 2050 dans les deux scénarios.

Les investissements liés au développement et à la maintenance de la production, du transport et de la production de bio-gaz sont d'un faible montant en regard des capacités de décarbonation effectives qu'ils permettent.

De manière plus significative dans Pro-Techno, les usages de l'hydrogène (produit essentiellement par électrolyse) se développent, conduisant - avec des montants d'investissement¹⁴ bien moindres - au développement progressif du réseau d'hydrogènoducs (une partie de ce réseau provenant de la conversion d'éléments du réseau gazier).

L'autre transformation majeure consiste à accroître la décarbonation de l'électricité d'ici à 2050, tout en assurant une augmentation de +60% de la consommation électrique (485 TWh en 2018¹⁵) pour le scénario Pro-Techno (notamment du fait de l'électrification de véhicules routiers, de l'industrie et du chauffage résidentiel), et une diminution de -12% dans le scénario Sobriété (résultant de la modération des usages dans l'ensemble des secteurs, et par une efficacité énergétique accrue en particulier dans le bâtiment).

Ces deux scénarios prospectifs diffèrent aussi par la part du nucléaire dans la production électrique (50% en 2050 dans Pro-Techno, et 27% dans Sobriété). Les besoins en infrastructures de production et les montants d'investissements dans la construction, le démantèlement des installations nucléaires, le stockage et le traitement des déchets n'ont pas été chiffrés dans cette étude. Pour cela, les équipes se sont référées aux scénarios RTE publiés en octobre 2021¹⁶, avec le scénario N03 pour Pro-Techno et M23 pour Sobriété.

Dans Sobriété, les énergies renouvelables solaires et éoliennes (126 GW installés en 2050) représentent une part plus importante du mix de production, production en 2050 qui est inférieure de plus de 20% au niveau de 2018¹⁷. Dans Pro-Techno, 151 GW de capacités installées en énergies renouvelables éoliennes et photovoltaïques sont nécessaires en plus des réacteurs nucléaires (existants ou à construire) pour une production qui atteint 760 TWh en 2050.

Concernant les réseaux de transport et distribution d'électricité, ils doivent s'adapter pour développer l'accueil et le raccordement des productions d'énergies renouvelables (chiffrés dans cette étude, en complément du renouvellement, mise au norme et modernisation). Mais les investissements relatifs au stockage et à la gestion de la variabilité de ces énergies ne font pas partie du périmètre de l'étude.

Nous constatons d'une part que les investissements dans le système électrique (même hors dépenses sur le nucléaire) sont bien supérieurs à ceux des autres infrastructures énergétiques (plus de 75% des dépenses sur le périmètre évalué). D'autre part, la sobriété dans les usages permet de modérer le niveau d'investissement dans les infrastructures énergétiques (+44% versus +77%).

¹⁴ Les investissements associés aux installations de production d'hydrogène ne sont pas inclus dans cette étude

¹⁵ A partir du Bilan énergétique de la France 2019 - MTE

¹⁶ Sur la base des scénarios électriques de RTE : <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques#Lesdocuments>

¹⁷ La baisse de la production est plus importante que la baisse de la consommation entre 2018 et 2050 car les exportations d'électricités importantes en 2018 sont supposées nulles en 2050

Les infrastructures du numérique

Le secteur du numérique n'a pas de budget carbone spécifique dans la SNBC. Une part importante de ses émissions sont des émissions importées¹⁸. Ce secteur intervient pour le développement de solutions nécessaires à la transition bas-carbone dans nos deux scénarios (multi modalité, optimisation des taux de charge ou taux de remplissage, ...). Cependant son mode de développement est fortement différencié entre les scénarios. Pro-Techno prolonge les dynamiques des 20 dernières années associées à des paris d'innovations qui pourraient être nécessaires à l'avènement de ce scénario. Sobriété s'appuie sur de l'innovation permettant de maîtriser l'explosion des flux de données et sur une modération des usages (en augmentant la durée de vie des équipements et terminaux, en modérant les échanges de flux de données).

L'étude s'est concentrée sur les investissements nécessaires dans les infrastructures de réseaux de télécommunication fixes et mobiles. L'accès à la fibre sur l'ensemble du territoire prend un peu plus de temps dans le scénario Sobriété, où en outre, le maillage type 5G n'est pas étendu à l'ensemble du territoire. Ce déploiement plus modéré implique des investissements plus faibles pour le réseau mobile en Sobriété (4,7 Mds€ cumulés 2021 et 2050) qu'en Pro-Techno (13,5 Mds€).

Les infrastructures de CCS

Les technologies de capture et de stockage technologique de carbone (CCS), absentes aujourd'hui en France, sont cependant prises en compte dans la SNBC avec un objectif de -1MtCO₂e/an en 2030 et de -15MtCO₂e/an en 2050. Cette étude s'est penchée uniquement sur la construction des infrastructures on shore, qui concernent uniquement le transport du CO₂ (comprimé ou liquéfié)¹⁹, permettant d'acheminer le CO₂ depuis les lieux d'émissions jusqu'aux côtes, avant transport offshore vers les sites de stockage (mer du Nord en particulier).

Dans Pro-Techno, 700 km de canalisations dédiées permettent l'atteinte des objectifs de la SNBC. Le scénario Sobriété ayant très peu recours au CCS, seuls 100 km sont nécessaires à l'horizon 2050.

¹⁸ Fabrication des terminaux, fabrication et usage des serveurs. Voir rapport The Shift Project "[Pour une sobriété numérique](#)"

¹⁹ Pas de site de stockage onshore projeté dans les documents de référence sur le sujet

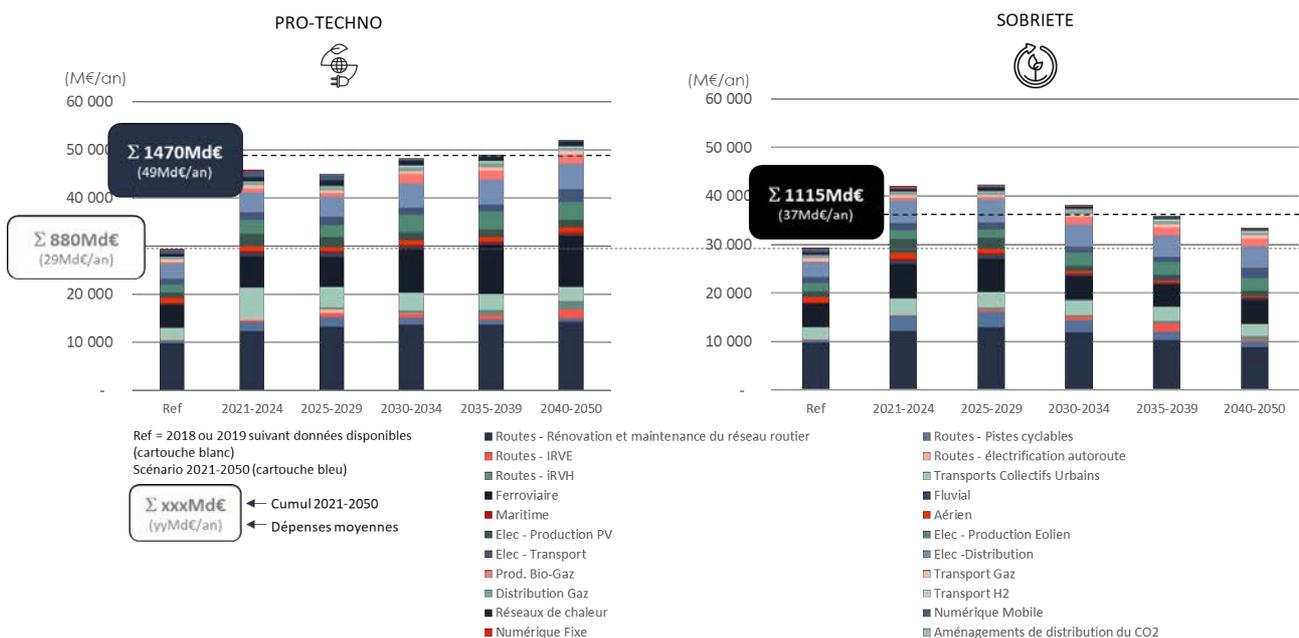
Conclusion du volet réduction

Dans les deux scénarios, un accroissement important des dépenses d'investissement est nécessaire d'ici à 2030.

Le choix de la transformation des usages conditionne une bonne partie des besoins d'évolution des infrastructures comme le montrent nos deux scénarios.

La dynamique d'évolution des usages est structurante pour l'évolution du volume des investissements après 2030 : la poursuite de l'intensification des usages dans Pro-Techno conduit ainsi à une croissance continue des dépenses alors que dans Sobriété leur modération permet une décroissance des dépenses tendant vers le niveau de référence en 2050.

Ainsi, le cumul des dépenses d'investissement sur la période est très différent selon les scénarios (1470 Mds€ cumulés soit **49 Mds€/an** correspondant à un accroissement moyen de 67% pour Pro-Techno et 1115 Md€ cumulés soit **37 Mds€/an** soit un accroissement de 27% pour Sobriété entre 2021 et 2050, pour **29 Mds€/an** en année de référence). Au-delà de ces volumes d'investissements, ce sont les paysages d'infrastructures qui sont contrastés.



Une transition socio-environnementale, deux paysages d'infrastructures

	 Pro-Techno	 Sobriété
Rappel des narratifs	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
Mobilité	<p>La mobilité qui représente 135 Mt/CO₂e en 2018 atteint 4MtCO₂e/an en 2050, soit 97% de moins qu'en 2018. Une certaine similitude des deux paysages jusqu'en 2030, l'effet de la transformation des infrastructures s'observant surtout à partir de 2030. Dans les deux scénarios, quasi disparition des motorisations thermiques hors biocarburant en 2050. Le trafic fluvial, non saturé aujourd'hui, continue de se déployer dans les deux scénarios.</p> <p>Augmentation du trafic passager après 2030, de l'ordre de 1,1% par an jusque 2050, et du volume de fret de 1,4% par an jusque 2050, avec une forte pénétration des véhicules électriques et hydrogènes, ainsi que des véhicules au gaz naturel comprimé pour le trafic routier. Cela permet le maintien de chaînes logistiques longues, avec une vitesse de livraison accélérée. Électrification d'une partie du réseau autoroutier (3000 km). Augmentation du trafic ferroviaire (en volume et en part modale), principalement sur les grandes lignes à fort trafic. Les métropoles observent un déploiement des transports urbains collectifs, avec le Grand Paris Express pour l'Île de France et l'extension de métros et tramway pour les autres villes. Le trafic aérien métropolitain est très légèrement croissant entre 2030 et 2050.</p>	<p>Baisse du trafic passager après 2030, de l'ordre de 1,1% par an jusque 2050, avec un renforcement des mobilités douces (triplage des voies cyclables en 2050 qui permet un maillage complet du territoire) et une contraction de la part modale des véhicules particuliers de l'ordre de 2,5% par an entre 2030 et 2050. Contraction de 1,9% du volume de fret entre 2030 et 2050, et particulièrement du trafic poids lourds (-3,4% par an), au profit du ferroviaire. Déploiement important de bornes de recharges électriques, car peu de recours aux bio carburants et à l'hydrogène. Renouveau du réseau ferré secondaire. Les transports collectifs dans les villes moyennes remplacent une partie des usages de la voiture particulière. Les longues distances métropolitaines sont couvertes par d'autres modes de transport que l'avion en 2050.</p>
Energie	<p>En 2050, les émissions annuelles liées à l'énergie sont réduites d'environ 95% par rapport à 2018, la seule énergie fossile encore présente dans le mix énergétique est le gaz à hauteur de 2%.</p> <p>Consommation électrique en augmentation (croissance de 12% jusque 2030, puis de 40% entre 2030 et 2050). Près de 50% de cette électricité est renouvelable, notamment grâce à l'éolien off shore. Baisse de la consommation de gaz de 12% en 2030 et de près de 60% en 2050. La production de biogaz, qui représente plus de 99% du gaz en 2050, est alors assurée à 80% par la méthanisation. Les projets de développement des capacités d'énergies renouvelables se concentrent sur le biogaz (notamment pour le fret poids lourd), les réseaux de chaleur.</p>	<p>Consommation électrique en diminution (-12% entre 2030 et 2050), le mix est majoritairement décarboné, avec un redimensionnement du réseau de distribution pour accueillir plus d'énergies renouvelables (solaire et éolien). Développement supérieur du photovoltaïque, notamment en toiture entre 2021 et 2030, puis baisse des investissements car avant tout sobriété des usages électriques. Le biogaz (produit à 93% en 2050 par méthanisation) a remplacé le gaz naturel fossile, et le gaz devient une partie très faible des consommations (baisse de 68% en 2050 par rapport à 2018)</p>
Technologie et numérique	Support de toutes les innovations de ruptures attendues par le scénario Pro techno (IA, ordinateur quantique) Le volume de données transmises est multiplié par 40 en 2050 (exemple : 5G sur tout le territoire avec plus d'antennes)	Catalyseur d'une logique low tech et d'une économie collaborative de la fonctionnalité. Le volume de données transmises est multiplié par 5 en 2050, avec une efficacité énergétique moindre. La 5G limitée ne concerne que 50% des données mobiles.
CCS	Deux gisements de stockage retenus, avec développement des canalisations de transport de CO ₂ à hauteur de 700 km.	La technologie CCS reste peu mature, seulement 100km de nouvelles canalisations de transport de CO ₂ issus CCS

Résilience : se préparer à faire face au changement climatique

Au-delà de la transformation du paysage d'infrastructures pour accompagner la réduction des émissions de gaz à effet de serre en France, la question de la **résilience de ces infrastructures** se pose aussi, et des tendances se dégagent quant aux investissements nécessaires. En effet, il a été montré qu'au niveau global le coût de l'inaction face au changement climatique est bien supérieur à la somme des investissements nécessaires pour réduire nos émissions et se préparer à cette nouvelle donne climatique²⁰. Sans donner un chiffrage complet et absolu des besoins d'investissement, cette étude donne toutefois une première vision d'ensemble de la problématique. Ce travail mériterait d'être renforcé ultérieurement avec plus d'échantillons initiaux, pour augmenter la robustesse des ordres de grandeurs présentés ici.

Pour maintenir le service rendu par le **parc d'infrastructures existantes**, on distingue parmi les investissements à réaliser (affectant la vulnérabilité structurelle des infrastructures) ceux associés à des travaux préventifs (pour éviter tout ou partie des dommages) et ceux associés à des travaux curatifs (pour remettre en fonction une infrastructure à la suite des impacts d'un aléa climatique). Les montants des pertes ou investissements curatifs et préventifs ne sont pas additionnables : dans une première période, l'investissement a pour objet d'éviter la survenue de dommages, et dans la seconde période, il y a plus de probabilité de subir des aléas climatiques extrêmes qui peuvent entraîner des investissements curatifs.

	Aléas les plus impactants	Perte potentielle d'exploitation	Investissements « curatifs » potentiels à réaliser entre 2035 et 2050	Investissements « préventifs » à réaliser entre 2020 et 2035
 Route	Augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur pluies intenses entraînant des inondations et glissements de terrain	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	22 000 millions d'euros	Non évalué par manque d'informations
 Tunnel		10 millions d'euros	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	Non pertinent pour l'échantillon retenu
 Pont	pluies intenses entraînant des inondations et glissements de terrain	Non évalué par manque d'informations	Non évalué par manque d'informations	12 000 millions d'euros
 Voie ferroviaire	Vagues de chaleur et pluies intenses	Non évalué par manque d'informations	200 millions d'euros	Non évalué par manque d'informations
 Tunnel ferroviaire	Pluies intenses entraînant des inondations et glissements de terrain	150 millions d'euros	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	Non pertinent pour l'échantillon retenu
 Port	Élévation du niveau de la mer	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	200 millions d'euros
 Aéroport	Augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur	100 millions d'euros	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	8 millions d'euros
 Réseau d'eau	Pas d'aléa mais rénovation pour limiter le taux de fuite	Non pertinent pour l'échantillon retenu	Non pertinent pour l'échantillon retenu	11 000 millions d'euros (calcul issu de la phase 3)
 Station de traitement de l'eau	Vagues de chaleur et pluies intenses	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	Aucun changement notable dans l'évolution du risque pour l'échantillon retenu	Non pertinent pour l'échantillon retenu
 Réseau électrique aérien/souterrain	Vagues de chaleur, sécheresses entraînant feux de forêts, et pluies intenses entraînant inondations et glissement de terrain	Non pertinent pour l'échantillon retenu	1 700 millions d'euros	800 millions d'euros
 Réseau numérique aérien/souterrain	Vagues de chaleur, sécheresses entraînant feux de forêts, et pluies intenses entraînant inondations et glissement de terrain	Description qualitative	Description qualitative	Description qualitative

²⁰ Lord Nicholas Stern, « The economics of climate change », Cambridge University Press, 2006

Les ponts sont les premières infrastructures qui devraient bénéficier d'investissements préventifs, suivies par les réseaux électriques. Les investissements curatifs se concentrent sur les routes, du fait de leur vulnérabilité forte aux vagues de chaleur et d'un réseau très étendu sur le territoire. L'échantillon retenu pour les stations de traitement de l'eau ne permet pas de mettre en évidence des investissements liés à leur adaptation, et sur ce segment en particulier l'étude mériterait d'être approfondie pour capturer les effets prévisibles de la baisse des débits des cours d'eau.

Concernant l'adaptation du parc d'infrastructures existant, des montants proches de **13 milliards d'euros pour les investissements préventifs et de 25 milliards d'euros pour les investissements curatifs** pourraient être nécessaires en cumulé d'ici 2050 dans le scénario pessimiste (mais tendanciel) d'évolution de nos émissions de GES, pour adapter nos routes, nos ponts routiers, nos tunnels, voies ferroviaires, ports, aéroports, réseaux d'eau, stations de traitement d'eau et stations d'eau potable et autres infrastructures de l'eau et enfin, notre réseau électrique.

Il a été retenu de prioriser les dépenses ainsi : les investissements préventifs sont réalisés sans attendre d'ici 2035 tandis que les investissements curatifs se matérialisent sur la période 2035-2050, où les conséquences physiques de la dérive climatique se font plus nettement ressentir.

Ainsi, un ordre de grandeur de ~900 millions d'euros de besoin d'investissement par an d'ici 2035 puis de ~1,7 milliards d'euros par an est donc à garder en tête pour anticiper et/ou réparer les dégâts causés par la dérive climatique sur les infrastructures existantes.

Les **ouvrages de protection** à construire pour se préparer au dérèglement climatique (notamment digues ou perrés) concernent 800 km de linéaire côtier, pour **~2 milliards d'euros**, auxquels on peut ajouter un **montant équivalent d'environ 2 milliards d'euros** pour adapter les zones vulnérables du pays aux inondations fluviales. **Soit un total de ~4 milliards d'euros d'ici 2050 sur le volet ouvrages de protection.**

Enfin, le sujet du stress hydrique et par conséquent de la préservation de la ressource en eau a par ailleurs été exploré dans cette étude via une comparaison des avantages relatifs des retenues collinaires et des technologies de gestion et de rechargement des nappes phréatiques. Ces dernières semblent plus pertinentes à la fois en termes techniques, mais aussi en termes de coûts d'investissement. Toutefois, une extrapolation du besoin d'investissement à la maille nationale n'a pas pu être réalisée, car la quantification de chaque besoin doit être faite à l'échelle locale pour être pertinente. Par ailleurs, une accélération de la rénovation des réseaux d'eau est nécessaire afin de minimiser le taux de fuite (actuellement en moyenne de 20%) et préserver cette ressource en eau rare dans un contexte de stress hydrique. **Une action volontaire nécessiterait un besoin d'investissement estimé à ~65 milliards d'euros d'ici 2050, soit 2,2 milliards d'euros par an d'ici 2050.**

L'adaptation au stress hydrique en France ne pourra toutefois se limiter à ces deux uniques solutions d'adaptation : le renouvellement et le renforcement des réseaux d'eaux pluviales devront être étudiés, et des changements de paradigme pourront être nécessaires, comme le recyclage des eaux usées traitées pour certains usages agricoles,

urbains et industriels ainsi que la collecte et réutilisation d'eau de pluie pour garder une qualité "eau potable" strictement pour les usages où elle est indispensable (consommation humaine notamment...).

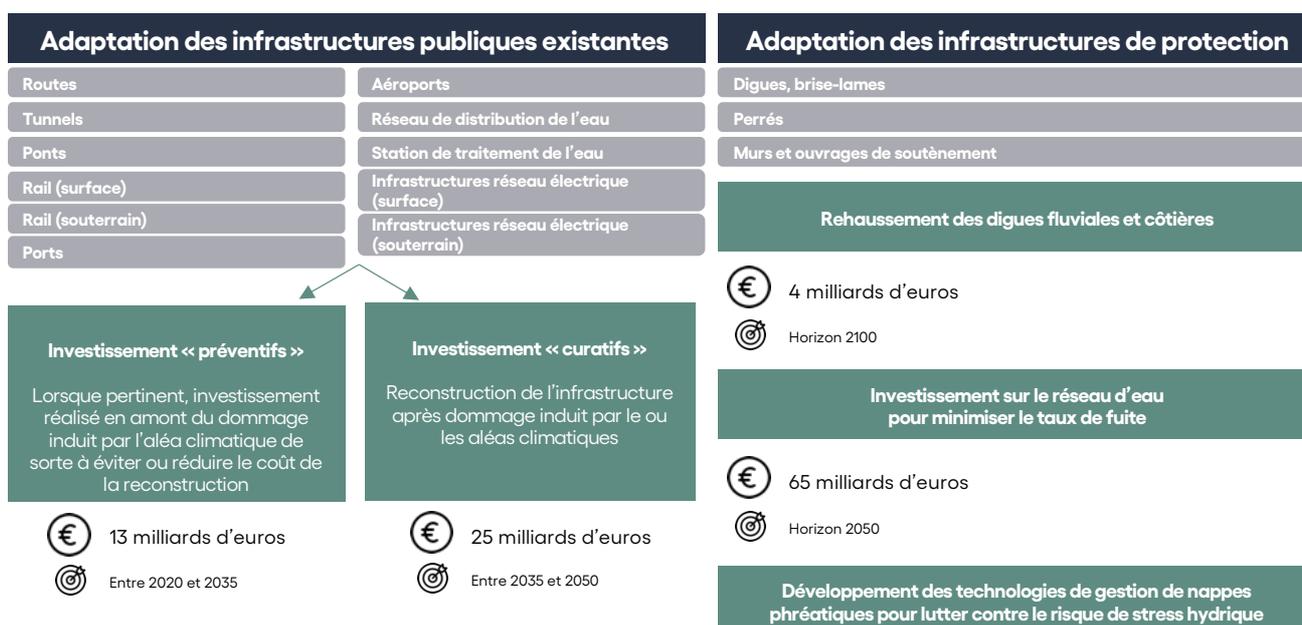
Conclusion du volet résilience

Investir pour s'adapter est moins coûteux sur la durée que de ne rien faire. Il ressort de l'étude que les investissements les plus conséquents d'ici 2050 portent sur l'adaptation du parc d'infrastructures existant. Les montants nécessaires pour développer les ouvrages de protection sont d'un ordre de grandeur plus faible.

Le sujet du stress hydrique est également clé à anticiper pour s'adapter à cette nouvelle donne climatique. Les solutions sont nombreuses mais leur pertinence dépend du contexte local, ce qui empêche toute extrapolation du besoin d'investissement au niveau national. Cependant, deux solutions semblent sans regret partout sur le territoire : rénover les réseaux d'eau pour minimiser le taux de fuite et développer les technologies et infrastructures de gestion de nappes phréatiques (recharge artificielle de nappes), moins coûteuses et plus pertinentes que les retenues collinaires.

En résumé, du côté infrastructures existantes, les investissements préventifs (~13 Mds € au total) sont à réaliser sans attendre, d'ici 2035, tandis que les dépenses curatives (~25 Mds € au total) ont plutôt été anticipées pour la période 2035-2050. Les ouvrages de protection (~4 Mds € au total) sont à construire régulièrement d'ici 2050. Enfin, la rénovation accélérée des réseaux d'eau pour minimiser le taux de fuite afin de mieux faire face au stress hydrique est un effort de ~65 Mds € au total, à réaliser régulièrement d'ici 2050.

Ces analyses conduisent à un ordre de grandeur d'investissement sur le volet Résilience de ~3,2 Mds € par an sur la période 2020-2035 et de ~4 Mds € par an sur la période 2035-2050 (total excluant les investissements dans les technologies de recharge de nappes, à chiffrer localement).



La restauration des milieux

La **restauration** des écosystèmes regroupe l'ensemble des actions à effectuer visant à rétablir la structure et le bon fonctionnement d'un milieu ou d'un écosystème, en fonction des dégradations humaines subies. Ces actions peuvent aussi contribuer à l'adaptation au changement climatique en agissant sur le climat local ou en améliorant la résilience des territoires.

- ✓ L'objectif **Zéro Artificialisation Nette** (ZAN) a été traduit en 3 familles d'actions : éviter l'artificialisation, améliorer la valeur écosystémique d'un site artificialisé, et désartificialiser (rendre un site artificialisé de nouveau disponible pour la nature). Sans surprise les volumes de travaux nécessaires pour atteindre le ZAN dans le scénario Pro-Techno sont plus importants que dans le scénario Sobriété (40% de plus de conversions de friches, 4 fois plus de surfaces à désartificialiser du fait d'une artificialisation brute plus élevée). Une piste complémentaire et plus ambitieuse dans le scénario Sobriété serait de tendre vers le ZAB (zéro artificialisation brute).
- ✓ S'agissant de la **renaturation des milieux**, une partie des travaux peut concerner les Travaux Publics (notamment les opérations de génie écologique), mais une autre partie peut être portée par d'autres spécialités (comme l'ingénierie forestière). Le volume de travaux associés aux surfaces urbaines à végétaliser, à la restauration des cours d'eau, à la plantation d'arbres (en milieu forestier ou en milieu agricole) est identique dans les deux scénarios ; il est structuré à l'ordre un par l'atteinte des objectifs des différentes stratégies nationales. L'impact de projets portés par le volet réduction (par exemple l'extension des réseaux ferroviaires et cyclables, ou encore à l'implantation de nouvelles énergies renouvelables), a été pris en compte et estimé par un besoin en surface à renaturer.

Conclusion du volet restauration

Au vu de la diversité du volet et du peu de sources bibliographiques adaptées et robustes pour couvrir ce volet, il a été difficile d'avoir une démarche chiffrée contrastée entre les deux scénarios Pro-Techno et Sobriété pour toutes les activités de renaturation identifiées.

Ce sont donc principalement les objectifs nationaux (objectif Zéro Artificialisation Nette en 2050 de la loi Climat et résilience, objectifs d'augmentation des surfaces de forêts et d'arbres sur les surfaces agricoles issus de la SNBC, objectifs de restauration des cours d'eau du Plan Biodiversité, etc.) qui ont servi de socle aux modélisations des besoins de travaux dans ce volet.

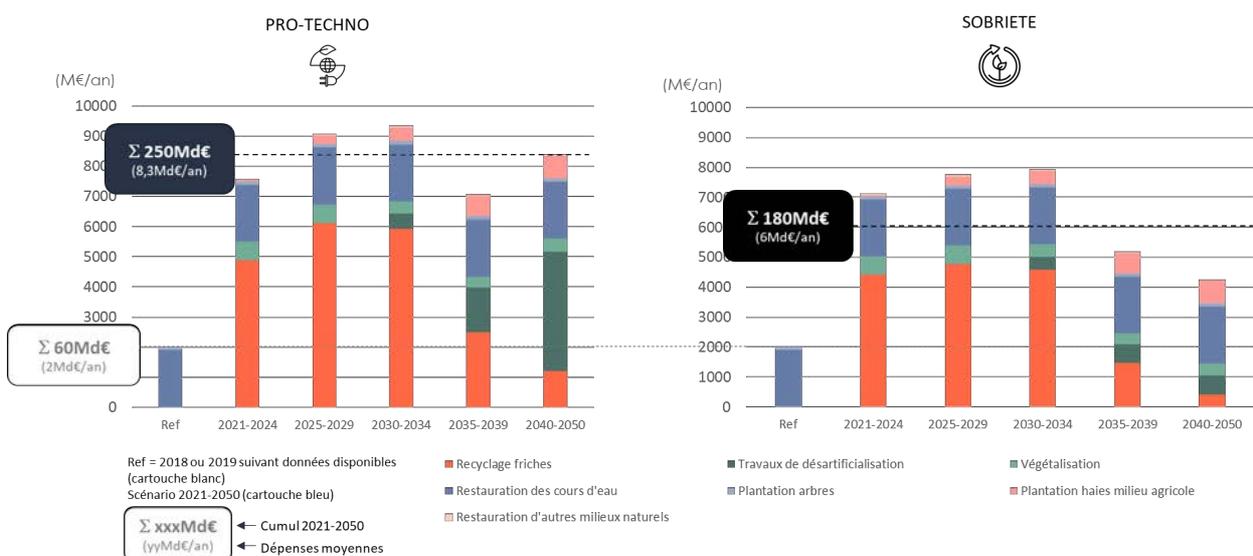
Les activités de Travaux Publics traditionnellement dédiées à des actes de construction et de maintenance des ouvrages et infrastructures peuvent s'enrichir d'actes de réparation (y compris les réalisations de génie écologique constituant la compensation environnementale pour de nouveaux projets d'infrastructure), d'aménagements environnementaux ou de moindre dégradation des espaces naturels et écosystèmes, et de renaturation d'autres milieux (comme la végétalisation des villes, et la restauration des cours d'eau).

Pour les actions qui ont pu être chiffrées sur ce périmètre, les dépenses annuelles moyennes sur 2021-2050 sont estimées à **2,4 Mds/an** dans les deux scénarios.

Pour répondre à l'objectif de Zéro Artificialisation nette, les travaux de réduction de l'artificialisation par le recyclage de friches, de réduction de l'impact des sols artificialisés, et de désartificialisation s'élèveraient en moyenne sur 2021-2050 à **5,3 Mds€/an** pour Pro-Techno et **3 Mds€/an** pour Sobriété du fait d'une moindre artificialisation.

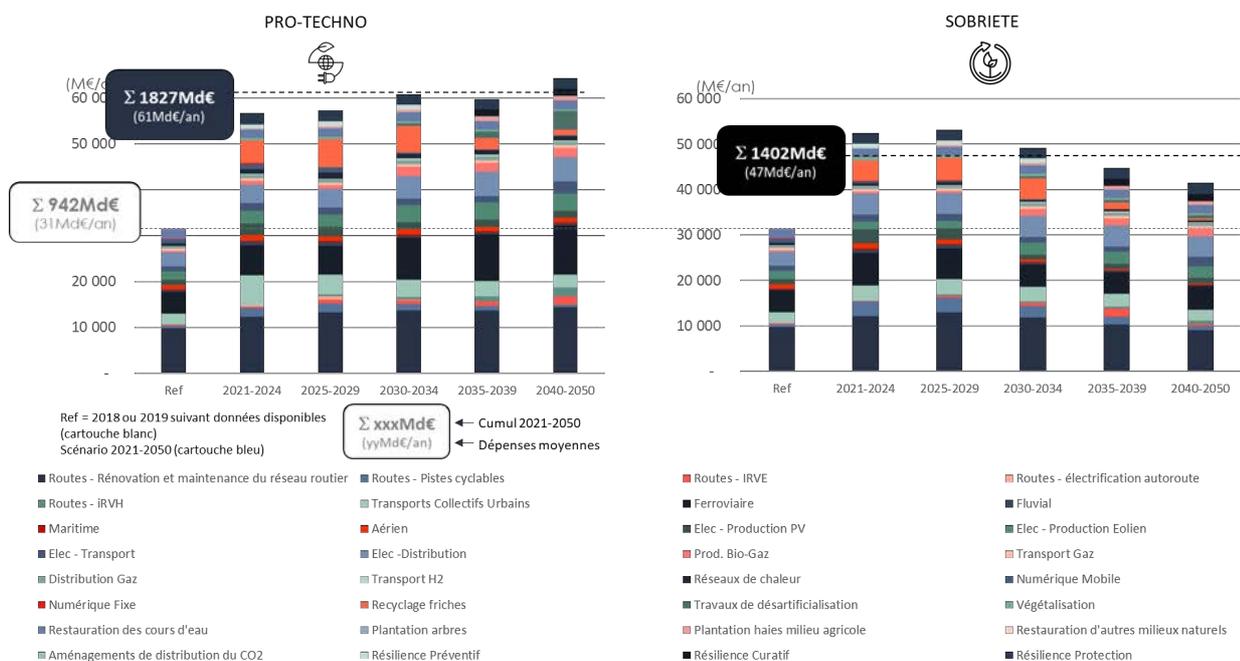
Le montant de carbone séquestré par la plantation d'arbres en milieu agricole et forestier est estimé à 15 MtCO₂eq/an en 2050. Les dépenses associées à la plantation de haie et à la reforestation ont été estimées à **635 M€/an** dans les deux scénarios.

	 Pro-Techno	 Sobriété
Rappel des narratifs	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 , accompagnées d'une diminution pilotée de la consommation
Artificialisation	Plus grande quantité de friches à recycler et de travaux de désartificialisation car plus grande quantité de constructions nouvelles.	Intensification de l'usage des surfaces construites, peu d'artificialisation brute, donc peu de besoin de désartificialiser.
Renaturation des milieux	Augmentation de la surface de haies à replanter pour permettre la séquestration de 3MtCO ₂ e/an à l'horizon 2050. Augmentation des surfaces à reforester et aforester pour 12 MtCO ₂ e/an séquestrées à l'horizon 2050.	
	Végétalisation des villes à hauteur de 430 ha / an d'ici 2050, pour une surface végétalisée de 22m ² /hab en 2050.	
	Restauration des cours d'eau, à hauteur de 5000 km / an pour restaurer la continuité aquatique.	
	Plus de 100 kha de milieux naturels à restaurer en compensation des nouvelles infrastructures bas-carbone (réseau ferroviaire / pistes cyclables / parc éolien terrestre).	

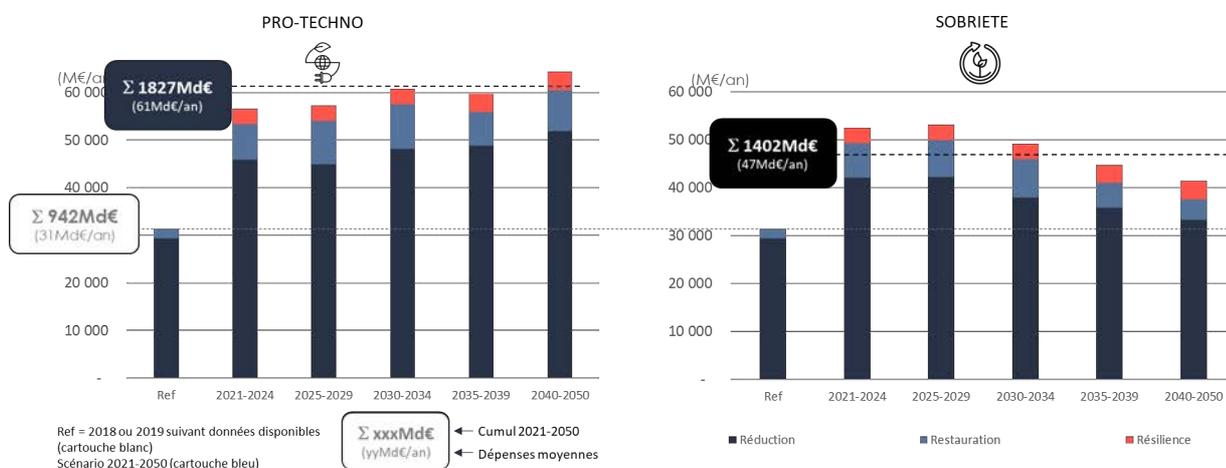


Récapitulatif des investissements pour les infrastructures selon les 3R

Dans cette partie, les niveaux d'investissements monétaires présentés sont ventilés par type d'infrastructures :



Et les mêmes investissements sont résumés selon leur contribution à Réduction, à la Restauration, et à la Résilience :



VII - Grands enseignements et perspectives pour la Réduction des émissions, la Résilience des infrastructures et la Renaturation

Une inertie importante pour transformer le parc d'infrastructures français, car ces objets obéissent à des logiques de temps long.

- ✓ Les infrastructures existantes resteront encore longtemps dans le paysage, leur durée de vie se comptant en dizaines d'années. Pour atteindre les objectifs climat de la France et accroître sa résilience au changement climatique, il faut choisir maintenant la vision des services rendus par ces infrastructures, des nouveaux usages auxquels elles doivent répondre et déterminer ainsi le programme de travaux à effectuer pour les adapter et les rendre résilientes. Les premiers effets de ces transformations pourraient être constatés d'ici à 2030.

Les efforts d'investissement sont majoritairement portés par la réduction des émissions.

- ✓ Sans surprise les **efforts et enjeux** sont évidemment à mettre en priorité sur la **réduction des émissions** liées à l'usage des infrastructures.
- ✓ Le choix d'investir différemment dans les infrastructures est à faire maintenant, en cohérence avec un projet de transformation des usages, et pourrait contribuer à **réduire effectivement de 38% les émissions de la France d'ici 2030²¹**, en particulier au travers de la décarbonation de la mobilité, du gaz et de ses usages. La différenciation en termes d'usages et donc de paysage d'infrastructures va s'accroître entre les deux scénarios après 2030.
- ✓ Certains choix de transformation du paysage d'infrastructure doivent être faits maintenant car différenciants (ferroviaire, production électrique, mobilités douces, ...). La SNBC 3 doit être l'occasion d'orienter la stratégie d'évolution des usages en la couplant à un programme d'évolution des infrastructures de la France.
- ✓ Pour que cette réduction d'émissions de GES soit effective, il faudra piloter et accompagner la baisse des usages de certaines **infrastructures** et donc accepter leur contraction²² (aéroports, réseaux de gaz, ...).
- ✓ Les deux scénarios envisagés sont compatibles avec la baisse d'émission visée par la SNBC ; **Sobriété** a l'avantage d'être en capacité de **mieux absorber** que Pro-Techno des **contraintes et tensions probables** sur **les flux physiques** et **l'accès à certaines matières premières**. Il nécessite en revanche des **évolutions fortes des comportements et organisations** qui requièrent des actions dédiées pour accompagner ces transformations et assurer leur **acceptabilité sociale**. **Pro-Techno**, repose au contraire sur des **paris technologiques** et une **poursuite de la**

²¹ "Synthèse scénario de référence SNBC-PPE" émissions territoriales 2030 de 270MtCO₂e/an contre 436MtCO₂e/an en 2019

²² D'un moindre recours à l'infrastructure jusqu'à la réduction de l'infrastructure

croissance des consommations. Dans les deux cas, il est nécessaire d'envisager des **ruptures fortes dans les dynamiques existantes** pour les infrastructures. Suivant le type d'infrastructures, les nécessaires dépenses de maintenance d'une part et les investissements pour en décarboner leurs usages d'autre part n'ont pas du tout le même poids. Ainsi **la nécessaire maintenance et remise à niveau du réseau routier fait que la route reste très importante** dans les deux scénarios en termes de dépenses, notamment par rapport à l'ensemble des investissements sur le volet mobilité.

- ✓ Pour autant, sur un certain nombre d'infrastructures (comme les réseaux électriques, les réseaux ferroviaires, ou le réseau routier), il faut penser les transformations en intégrant les enjeux liés à leur résilience et à leur contribution à la renaturation.
- ✓ Pour préparer le parc actuel aux aléas physiques du changement climatique, il ne suffira pas de le maintenir et de le rénover. Des investissements préventifs ciblés et exigeants sont nécessaires dès maintenant. Ce sont des travaux importants qui doivent être réalisés en parallèle de ceux permettant de décarboner l'usage des infrastructures.
- ✓ Les programmes d'investissement dans les infrastructures pour la transition bas-carbone doivent se construire dans une approche systémique et intersectorielle permettant d'assurer la cohérence entre les évolutions d'infrastructures et d'usages mais aussi entre les infrastructures (par exemple : infrastructures énergétiques, numérique et mobilités).

Les efforts sur la réduction des émissions ne doivent pas effacer la **préparation à un climat qui change**, et la nécessité de travaux de **restauration des milieux et écosystèmes**.

- ✓ Le coût des investissements préventifs permettant l'adaptation des territoires via leurs infrastructures, ou le coût des dépenses curatives sur les infrastructures (chiffré aussi dans cette étude) sont limités. Ils ne tiennent pas compte des autres conséquences économiques, politiques, financières, sociales et sanitaires, qui n'ont pas été chiffrées dans cette étude mais dont les exemples récents illustrent les impacts potentiels (inondations en Allemagne, ...). Cette **logique assurantielle** encourage donc à limiter les risques liés au dérèglement climatique par la mise en œuvre d'actions préventives.
- ✓ Il existe un lien **indirect mais certain entre la résilience et la restauration**, car les bénéfices de la restauration des services écosystémiques ont des effets d'amortissement de la vulnérabilité au changement climatique des territoires et de leurs infrastructures (augmentation de la stabilité des sols par exemple).
- ✓ Le volet de la **renaturation** met en évidence des enjeux d'importance, mais reconnaissons que c'est encore un **domaine naissant**, avec des problématiques et modes d'action nouveaux, qui ne sont pas tous dans le champ d'action du secteur des Travaux Publics (comme l'ingénierie forestière ou agro écologique).
- ✓ La restauration n'est pas (et ne doit pas être) considérée seulement comme une « compensation » annulant des dégradations des écosystèmes par les activités humaines au sens large. Il faut l'envisager comme une **amélioration de l'état actuel des milieux, dans une perspective d'amélioration de la résilience des milieux**

naturels. Dans le cadre des projets qui impactent les écosystèmes, il est important de garder en tête que **le levier principal, prioritaire, et nécessaire, c'est d'éviter ou limiter les dégradations en premier lieu**²³, car il existe une asymétrie entre dégradation d'un milieu et restauration de celui-ci, du fait des temporalités des phénomènes naturels²⁴.

Investir : oui, mais avec discernement, exigence et cohérence.

- ✓ **Approcher le besoin en investissement dans les infrastructures par les euros a un effet trompeur : entre nos deux scénarios, pour deux montants identiques, la nature des transformations des infrastructures est totalement différente. Ainsi pour investir en cohérence d'un projet de transition bas-carbone et accompagner la décarbonation des usages,** il faut allouer de manière privilégiée des investissements **aux infrastructures par nature décarbonées et décarbonantes** (capacités de production de bio-gaz / pistes cyclables / stations de recharges électriques pour véhicules particuliers / transport marchandise ferré / EnR / ...).
- ✓ Dans les dépenses d'investissement appréhendées dans l'étude, toutes ne sont pas des **investissements induits par la décarbonation. Nous avons** aussi considéré l'ensemble des budgets « Maintenance » qui correspondent à des investissements nécessaires **au parc actuel d'infrastructures**, pour lequel nous avons pris le parti d'assurer la pérennité et la continuité d'usage. Une réflexion plus précise, à partir de scénarios territoriaux d'aménagement du territoire serait à mener, incluant les bénéfices d'une maintenance "bas-carbone".
- ✓ Dans les deux scénarios, un effort d'investissement supérieur au niveau actuel est à consentir pour décarboner la France, associé à des évolutions différentes du paysage d'infrastructure. Dans Pro-Techno, c'est un effort croissant alors que dans Sobriété, c'est un effort plus transitoire (durant la décennie 2020 avec un pic autour de 2030). La chronique temporelle des investissements liés à chacun des 3 volets dans les deux scénarios est différente : dans Sobriété, cette recherche de modération amène même à une **diminution des investissements** dans les infrastructures à partir de 2030, qui permet à partir de cette date de **réduire notamment l'impact sur la dépense publique, tout en restant supérieur au scénario de référence**²⁵.
- ✓ **Les investissements présentés dans les différents volets ne sont pas exclusifs ou substituables les uns aux autres. La priorité ne peut pas être donnée par exemple à des travaux liés à la réduction n'intégrant pas les besoins nécessaires à l'adaptation. Ceci demande une rupture forte des politiques publiques et des comportements.** La cohérence globale de ces politiques est nécessaire pour produire les résultats visés.

²³ ERC : 1/ Éviter, 2/ Réduire, 3/ Compenser

²⁴ L'idée de « restauration » peut laisser supposer une réparation possible des dégradations, il est crucial de ne pas adopter une approche de « compensation » contre-productive vis-à-vis de l'environnement. Une compensation réelle de nos impacts est souvent illusoire

²⁵ Des recettes complémentaires ou externalités positives sont aussi associés à ces investissements

Cette transition s'accompagnera de profonds changements dans les usages et les comportements : les investissements sont à envisager au sein d'un projet de société (intégrant les dimensions usages, comportements et infrastructures).

- ✓ Les infrastructures doivent se transformer en cohérence avec l'évolution des modes de vie, des usages et des comportements, dont il ne faut pas sous-estimer l'importance. En effet, la seule transformation des infrastructures, bien que nécessaire, ne suffira pas sans les autres transformations systémiques, pour réaliser la transition bas-carbone et respecter les objectifs de la SNBC.
- ✓ Les transformations des infrastructures associées aux deux scénarios vont impacter de manière importante les différentes activités du secteur des Travaux Publics et ouvrent la question des **transformations associées des métiers des Travaux Publics (par exemple au travers du volet Restauration)** : c'est un nouveau terrain de jeu à explorer pour de **nouvelles activités** qui ont des **co-bénéfices plus larges que le carbone** (même s'ils sont encore difficilement quantifiables aujourd'hui), sur la **biodiversité ou le cycle de l'eau par exemple**.
- ✓ Suivant le scénario retenu, les changements diffèrent, soulignant la nécessité d'un projet global explicite et cohérent combinant infrastructures & usages, accompagné par les politiques publiques ad hoc.

Cette étude nous conduit à formuler **quatre recommandations** aux **pouvoirs publics** et aux **parties prenantes des infrastructures** :

- ✓ La réalisation de cette transformation des infrastructures face aux enjeux climat implique aussi la transformation des modes d'évaluation et de décision des projets. Le déploiement d'un tel programme d'investissements nécessite de développer un schéma de pensée à déployer à la maille unitaire de l'infrastructure.
 - Conduire cette transformation des infrastructures, c'est passer du global au local, du général au particulier, et décider d'engager une multitude de projets dont les performances climat et écologiques doivent être rigoureusement évaluées, en intégrant leur impact sur les usages.
 - La mise en œuvre de ces évaluations passe par la constitution d'un cadre d'évaluation adapté et permettant de déployer et piloter un projet global (usages et infrastructures) en cohérence avec la SNBC.
 - La réflexion globale sur les 3R (Réduction / Résilience / Restauration) doit ainsi être introduite à la **maille de chaque infrastructure ou objet technique**, car ces considérations globales peuvent masquer des réalités locales très contrastées. Passer du niveau global au niveau local implique de se poser des questions similaires sur chaque projet d'infrastructure, en vérifiant par exemple avec le calcul de l'empreinte carbone globale du projet (sur tout son cycle de vie) qu'il est non seulement capable de récupérer sa dette carbone mais bien de contribuer à l'atteinte des objectifs de la SNBC.
- ✓ Développer un cadre d'évaluation (ex-ante et ex-post) exigeant, opposable et adapté aux enjeux permet d'assurer que les décisions d'investissement sont bien cohérentes avec le chemin de transition bas-carbone retenu (c'est particulièrement important pour les grands projets d'infrastructure à lourde empreinte carbone de construction pour lesquelles le retour sur "dépenses Carbone" doit être robuste et la contribution à la SNBC garantie).

- ✓ Faire à l'occasion de la SNBC3 un vrai travail de fond sur le volet des infrastructures, support de tous les secteurs économiques.
 - ✓ Intégrer dans ces évaluations et dans cette révision de la SNBC une approche sur les 3 piliers d'un référentiel carbone exhaustif (émissions induites, émissions évitées, émissions séquestrées) pour mesurer le réel bénéfice des différents travaux de transformation pour répondre à différents usages.
-

Partie 2

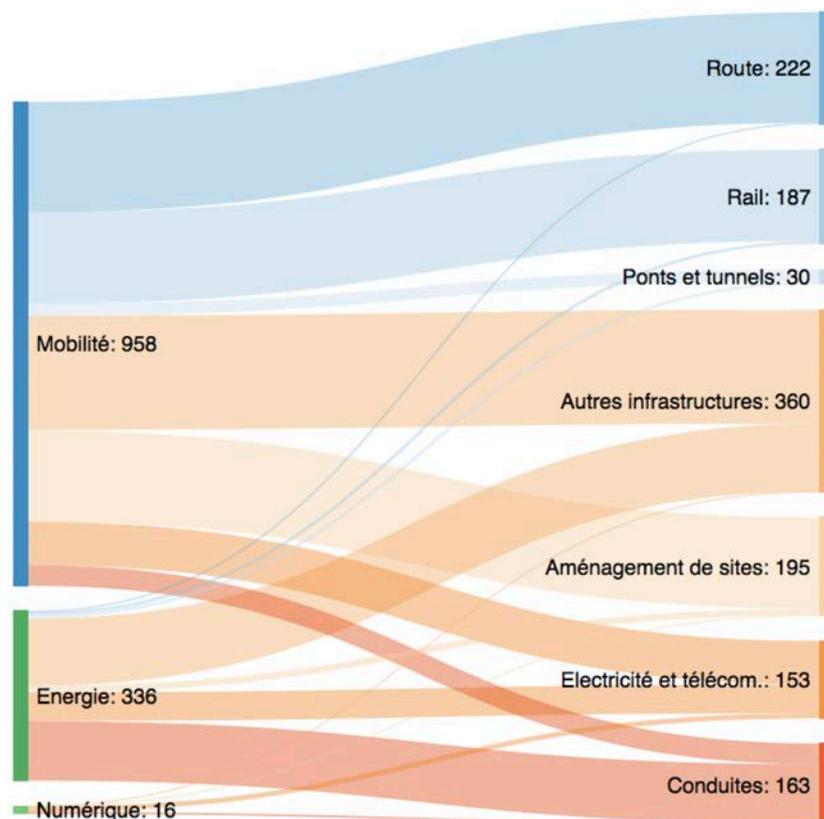
Impacts économiques

Par OFCE-NEO

VIII – Impacts économiques

L'estimation de l'impact économique lié à la réalisation de ces infrastructures, avec le modèle ThreeME, a été réalisée par L'OFCE-NEO, et est présentée dans la seconde partie de ce rapport. Pour ce faire, OFCE-NEO a **ventilé ces montants d'investissement par type d'activités**. La comptabilité nationale distingue les secteurs des TP selon le type d'activités et non pas selon le type d'infrastructures que ces secteurs contribuent à construire. Cela s'explique par le fait qu'une infrastructure donnée demande l'intervention de différents métiers et qu'une même activité intervient à la construction de différentes infrastructures. Par exemple, les investissements en infrastructures ferroviaires incluent une part importante de travaux de terrassement.

La représentation ci-dessous donne pour chaque famille d'infrastructure les montants d'investissements relatifs à la Réduction en milliards d'euros (approche Carbone 4), cumulés pour la période 2021-2050, et leur répartition suivant les différents types d'activités (approche de l'OFCE-NEO) :



Sankey : les investissements relatifs à la réduction (volet Mobilité, volet Energie, volet Numérique – étude Carbone 4) sont reventilés par type d'activité selon la comptabilité nationale (OFCE-NEO).

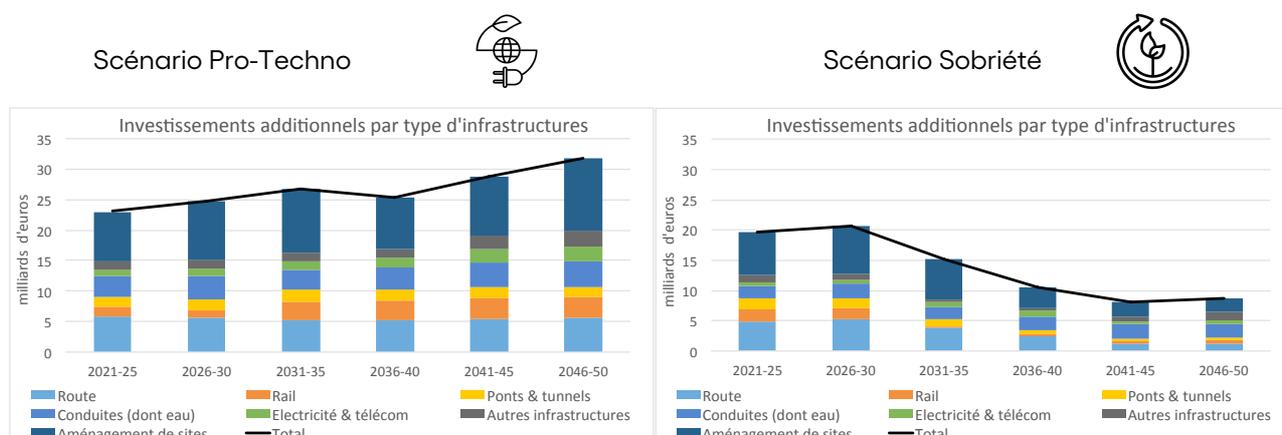
Investissements additionnels par volet et par activité des Travaux Publics

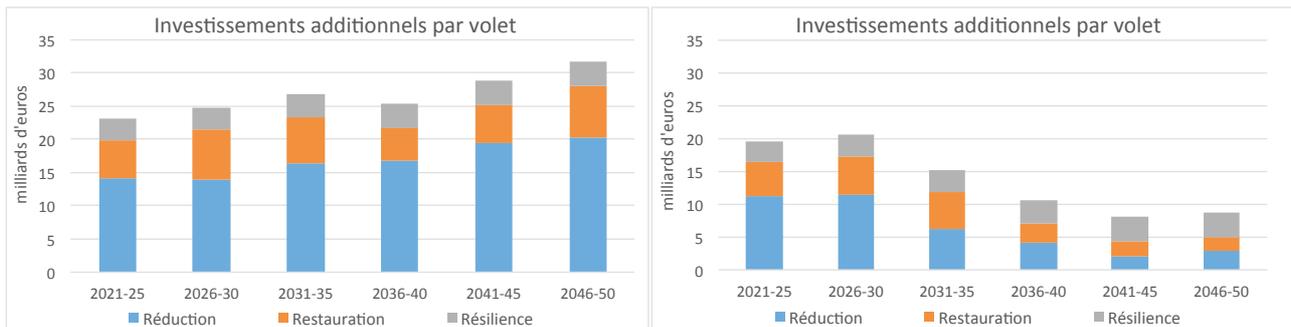
Pour mesurer l'impact économique d'un plan d'investissement en infrastructure compatible avec la SNBC, ne sont pris en compte dans la suite de cette étude que les **investissements additionnels** par rapport à un scénario sans ambitions bas-carbone. Cette approche évite ainsi de surestimer l'effet économique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

Ainsi, les montants d'investissements annuels reportés ci-dessous, puis utilisés comme donnée d'entrées 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.

Par exemple, la première barre du graphique ci-dessous relatif aux trois volets réunis 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.

Les montants des investissements additionnels en infrastructures des scénarios Pro-Techno et Sobriété par activité des TP et pour les différents volets sont fournis ci-dessous :





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 an dans le scénario Pro-Techno contre 14 milliards d'euros dans le scénario Sobriété.
- ✓ 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. A 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 de 5,5 milliards d'euros additionnels par an environ 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). A 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. A 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.

Utilisation du modèle ThreeME

Afin de quantifier les impacts socio-économiques des scénarios d'investissements en infrastructures présentés dans les parties précédentes, nous utilisons le modèle **ThreeME : Modèle Macroéconomique Multisectoriel pour l'Évaluation des politiques Énergétiques et Environnementales**. ThreeME est un modèle d'équilibre général calculable destiné à l'évaluation des impact économiques des politiques énergétiques et environnementales²⁶. En comparant les scénarios d'investissement 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'économie.

Les dernières années ont été témoins de nombreuses évolutions concernant la prise en compte de l'impératif de réduction des gaz à effet de serre (GES) au niveau international avec en particulier l'aboutissement de l'Accord de Paris lors de la COP 21. La mise en œuvre de la réduction des GES implique une modification profonde des systèmes énergétiques existants susceptible d'avoir des impacts macroéconomiques et sectoriels importants. Pour faciliter la transition énergétique et son acceptation par les différents agents économiques, il est primordial d'anticiper et de quantifier ces effets ainsi que la mise en œuvre d'éventuelle mesures permettant l'atténuation des conséquences les plus préjudiciables.

Le modèle ThreeME, développé par l'ADEME (Agence de la Transition Ecologique), l'OFCE (Observatoire Français des Conjonctures Économiques) et NEO (Netherlands Economic Observatory) depuis 2008, a su jouer un rôle de premier plan en France au sein des débats inter-administratifs et interministériel concernant les questions relatives à l'évaluation macroéconomique 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). 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.

Le modèle ThreeME a été adapté au contexte de l'étude. Afin de simuler les impacts économiques de scénarios d'investissement en infrastructures, il est apparu important de représenter de manière détaillée les impacts des investissements sur les différents sous-secteurs des travaux publics. 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**.

²⁶ La description complète de ThreeME est accessible sur le site www.threeme.org

Principales hypothèses

Avant d'analyser les impacts macroéconomiques induits par les scénarios d'investissement décrits précédemment, il convient d'exposer les **principales hypothèses** considérées dans l'utilisation du modèle ThreeME, de manière à interpréter et mettre en perspective les résultats obtenus. Dans les deux scénarios considérés, on prend l'hypothèse que le plan d'investissement est financé par de l'investissement public (Etat 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'Etat 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 suite une hausse de l'emploi, une augmentation du revenu des ménages et une hausse de la consommation. 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.

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 Etats-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 d'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. On présente 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.

Impacts macroéconomiques

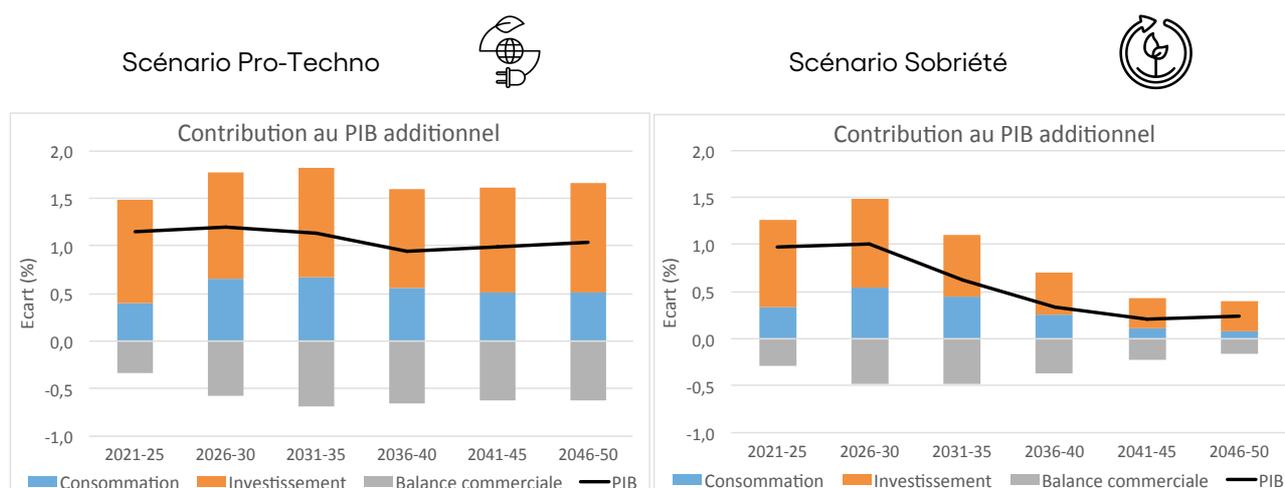
Tout comme dans la partie présentant les montants des investissements additionnels par activité des travaux publics, sont exposés ci-dessous les impacts des scénarios d'investissement sur différents indicateurs économiques clef, en écart au scénario de référence (i.e. scénario sans investissement supplémentaire), moyennés 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 Produit Intérieur Brut (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 Produit Intérieur Brut (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 qui mène à une hausse des importations et une baisse des exportations. Ces effets sont logiquement plus marqués 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).

En prenant en compte l'ensemble des effets (multiplicateurs et inflationniste), 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.

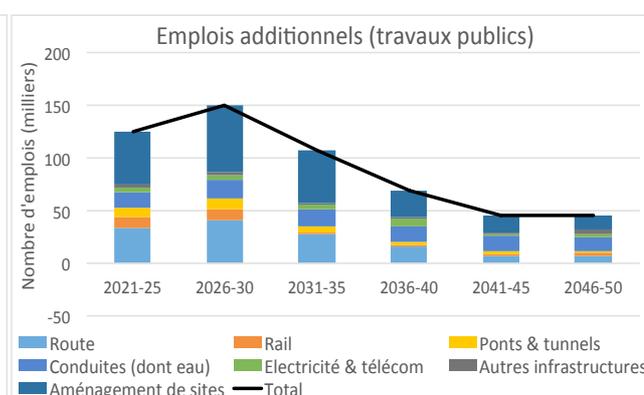
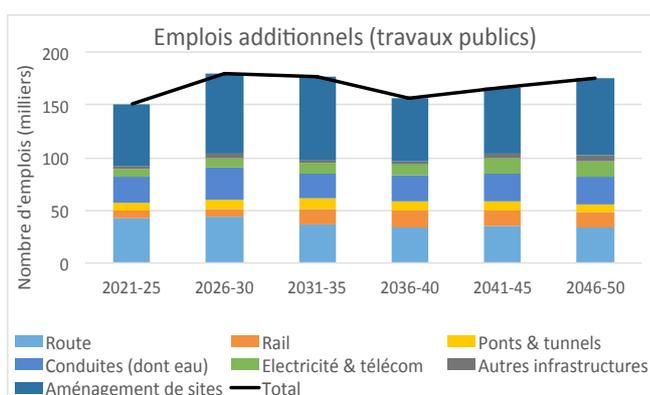
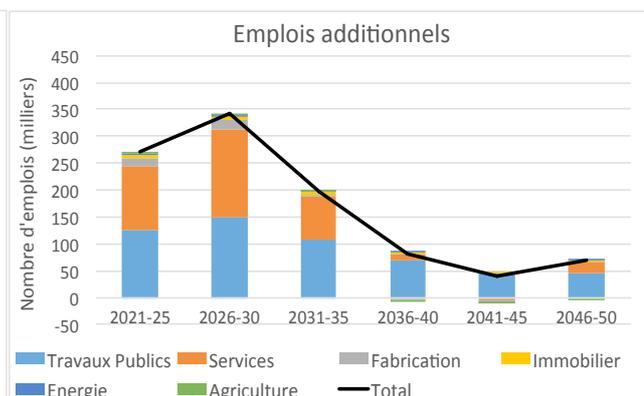
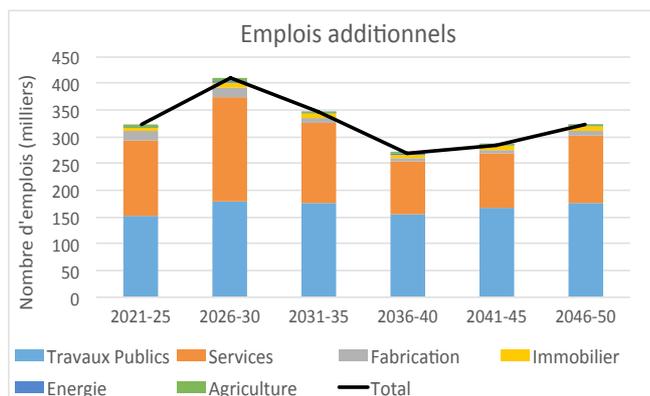


Résultats sectoriels

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). A 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). A 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.

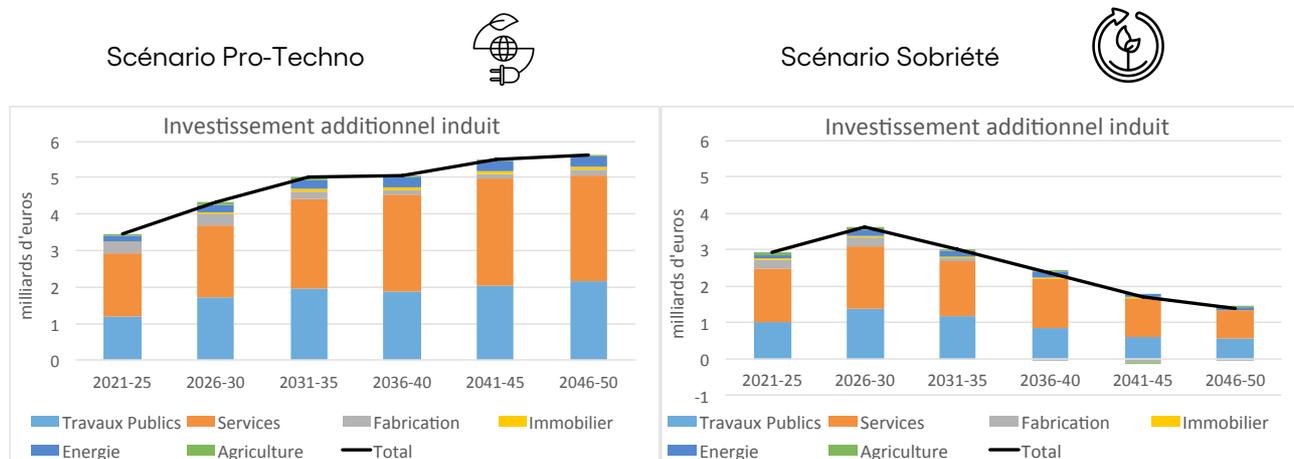
La répartition des emplois au sein du secteur des travaux publics montre que le secteur de l'aménagement de sites est le principal pourvoyeur d'emplois supplémentaires tout au long de la période d'étude, et dans les deux scénarios. Les autres secteurs sont toutefois affectés de manière différente dans 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. A 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.



Investissements induits

La réalisation d'investissements additionnels en infrastructures nécessite une hausse du stock de capital du secteur des travaux publics, ce qui signifie que le secteur est amené à réaliser des investissements supplémentaires dans des machines (engins de terrassement par exemple). Ces investissements en capital productif sont qualifiés d'investissements induits. Etant donné que la hausse d'activité dans les travaux publics implique une hausse de production dans d'autres secteurs auprès desquels se fournissent les entreprises de travaux publics, ces secteurs sont également amenés à augmenter leurs investissements en capital productif. Ainsi, le développement des infrastructures publiques à l'horizon 2050 induit des **investissements importants dans de nombreux secteurs de l'économie**, en premier lieu les services, mais également la fabrication, l'énergie, l'agriculture et l'immobilier. Notons que les investissements induits présentés ci-dessous excluent les investissements en infrastructures des différents scénarios. Il s'agit des investissements en capital productif nécessaire dans les différents secteurs de l'économie pour faire face à la hausse de la production générée au niveau national. Ainsi, entre 2021 et 2030 l'investissement induit s'élève à près de 4 milliards d'euros dans le scénario Pro-Techno, et à 3,3 milliards dans le scénario Sobriété. Après 2030, l'investissement induit est plus limité dans le scénario Sobriété (2,1 milliards en moyenne sur 2031-2050), mais augmente significativement dans le scénario Pro-Techno (5,3 milliards en moyenne sur 2031-2050). L'investissement induit est particulièrement

important dans le secteur des services et dans les travaux publics, mais est également substantiel dans les autres secteurs (fabrication, énergie et agriculture notamment). Ces effets mettent en évidence le rôle moteur des infrastructures publiques dans l'activité économique de ces secteurs.

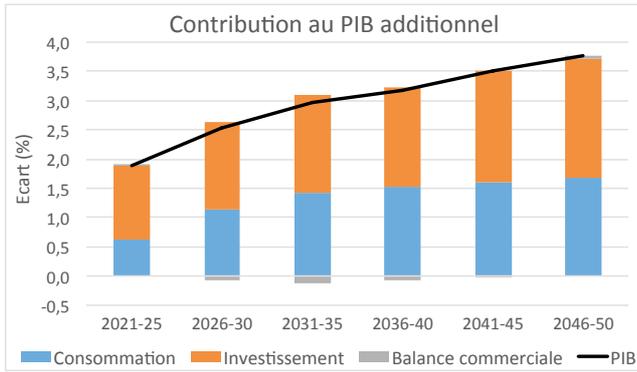


Impacts de la réduction des importations d'énergie

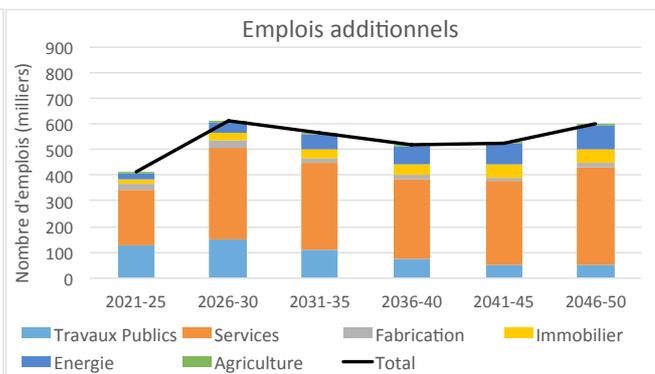
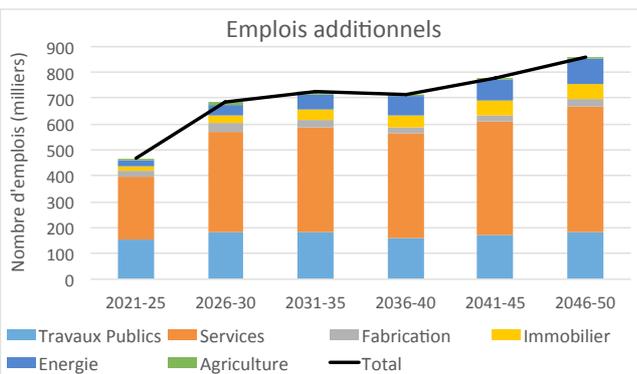
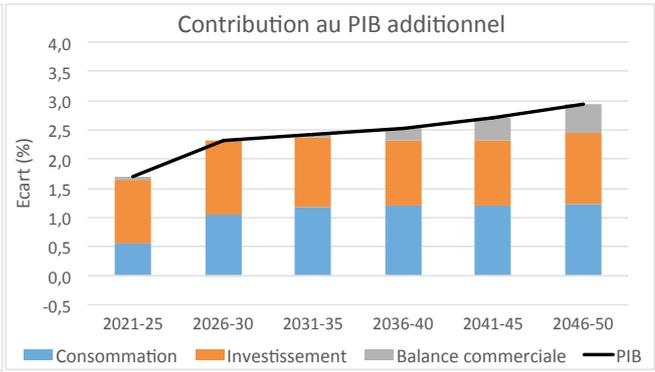
Il faut bien garder à l'esprit que les politiques de lutte contre le changement climatique ne se limitent pas au secteur des travaux publics. A titre d'exemple, les deux scénarios considérés conduiraient à une diminution drastique des importations d'énergie fossile (du fait notamment du développement 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. On prend 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 et de l'emploi. 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 aussi donc 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.

Scénario Pro-Techno



Scénario Sobriété



IX - Grands enseignements de l'étude des impacts économiques

Atteindre les objectifs de la SNBC nécessite une hausse des investissements de travaux publics par rapport à un scénario tendanciel autant dans un scénario Pro-Techno que Sobriété. Cette hausse des investissements a un **effet positif sur l'activité économique en France**, conséquence logique 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 sur 2021-2030, et génèrent entre 330 000 et 400 000 emplois supplémentaires selon le scénario. Sur 2030-2050, 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). Les impacts économiques apparaissent plus importants dans le scénario Pro-Techno que dans le scénario Sobriété, en particulier après 2030.
- ✓ Près de la moitié des emplois sont créés dans les secteurs des 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 font que la hausse du déficit public est relativement faible 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 1989-2019²⁷.

- ✓ 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 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.
- ✓ 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.

²⁷ Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050. Fédération Française de l'Assurance, Oct. 2021, p. 29

- ✓ 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. Il repose aussi moins sur le progrès technique, qui pourrait avoir des effets indésirables non quantifiés dans le modèle.

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 au 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 clef ici concernant les effets économiques simulés dans cette étude.
- ✓ 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. A défaut les besoins d'investissement en infrastructure 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 traité 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 surtout dans le contexte de la hausse de l'endettement public suite à 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 COVID19, 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.



Carbone 4 est le premier cabinet de conseil indépendant spécialisé dans la stratégie bas-carbone et l'adaptation au changement climatique.

En permanence à l'écoute des signaux faibles, nous déployons une vision systémique de la contrainte énergie-climat, et mettons toute notre rigueur et notre créativité en œuvre pour transformer nos clients en leaders du défi climatique.

Contact : contact@carbone4.com



L'Observatoire français des conjonctures économiques (OFCE) est un organisme indépendant de prévision, de recherche et d'évaluation des politiques publiques, accueilli en son sein par la Fondation nationale des sciences politiques (FNSP), en application de la convention passée en 1981 entre l'Etat et la FNSP.

« Mettre au service du débat public en économie les fruits de la rigueur scientifique et de l'indépendance universitaire », telle est la mission que l'Etat a confiée à l'OFCE et qu'il remplit en conduisant des travaux théoriques et empiriques, en participant aux réseaux scientifiques internationaux, en assurant une présence régulière dans les médias et en coopérant étroitement avec les pouvoirs publics français et européens.



NEO (Netherlands Economic Observatory) est un institut de recherche et de consultance en économie. Sa spécialité est l'application de méthodes économiques quantitatives dans le but de répondre à des questions de politique économique concrètes pour le compte de clients publics et privés. Son activité se concentre sur :

- des projets de recherche et de conseil liés à la simulation de modèles économiques
- des formations à l'utilisation et au développement de modèles économiques
- des études d'évaluation économiques et d'impact, en particulier sur les thèmes et les défis sociétaux suivants: transition énergétique, changement climatique, usage efficace des ressources, innovation, croissance sectorielle et régionale.