



CLÉS POUR AGIR

Décarboner l'industrie

Enjeux et défis

Les émissions de gaz à effet de serre de l'industrie

En France, l'industrie représente environ 20 % des émissions de gaz à effet de serre (GES), soit 78 millions de tonnes par an, ce qui en fait l'un des secteurs-clés pour atteindre la neutralité carbone. Ces émissions de GES se caractérisent par une forte concentration sur certains secteurs, sites et territoires.

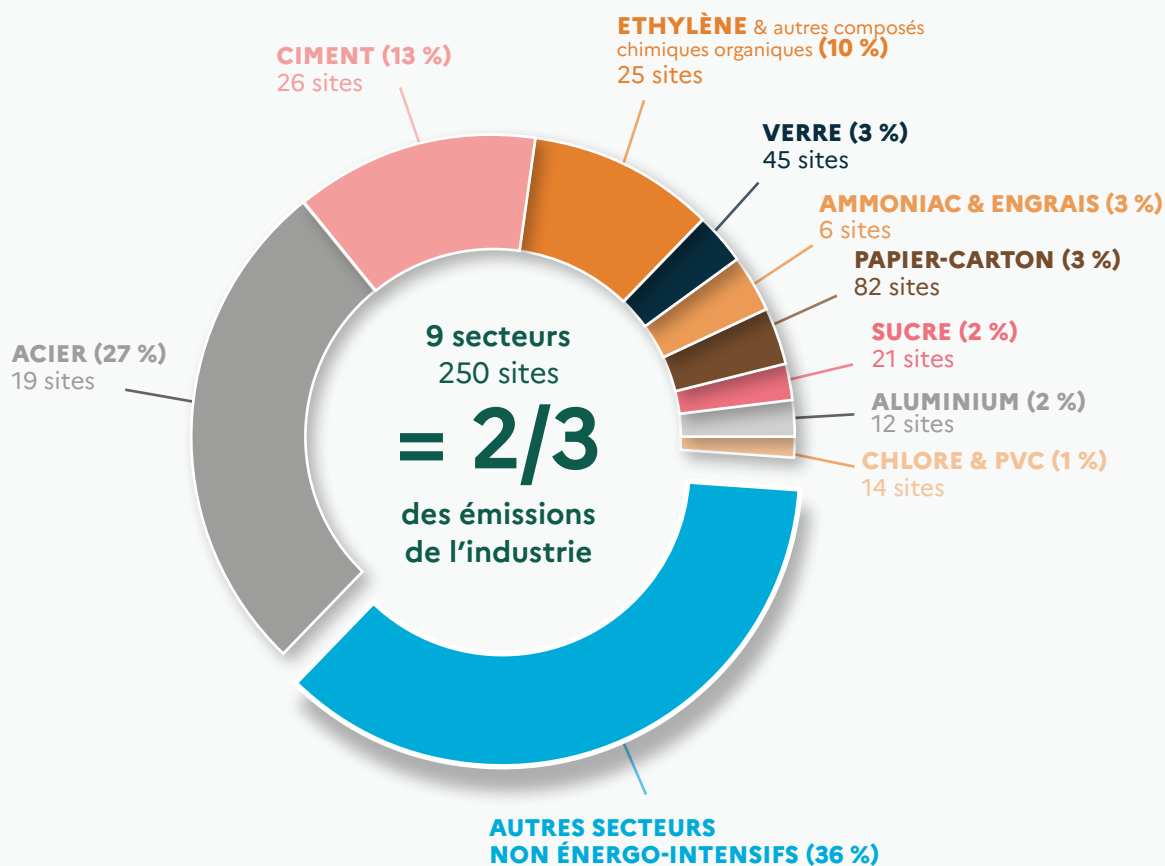
9 SECTEURS

... dits énérgo-intensifs, **concentrent les 2/3 des émissions** de GES de l'industrie.

250 SITES

... composent ces 9 secteurs. **50 de ces sites concentrent la moitié des émissions** de GES de l'industrie.

Émissions industrielles de GES en 2021 selon les secteurs et sites

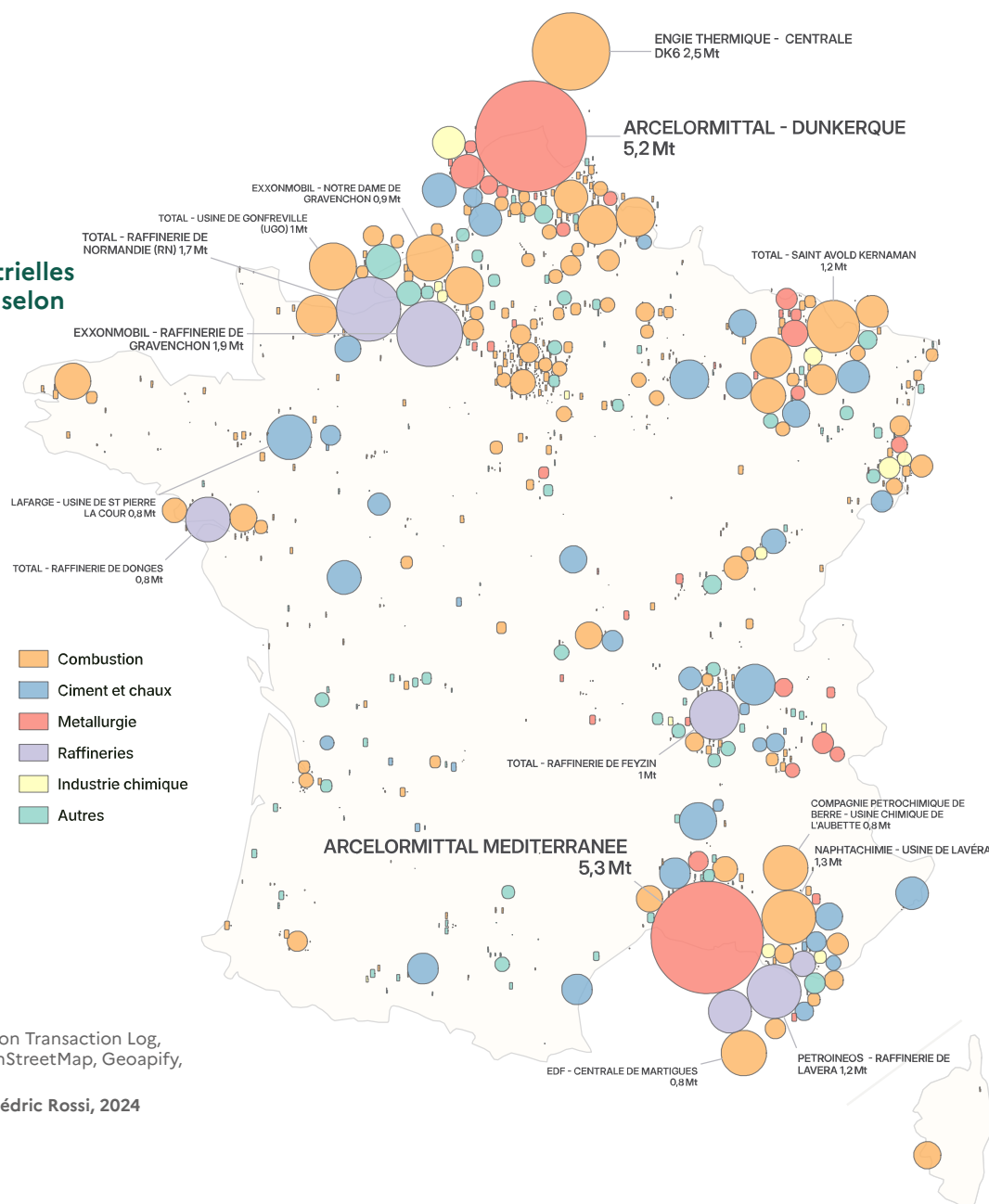


Le 1/3 restant des émissions de GES de l'industrie est émis par les 40 000 sites de plus de 10 salariés : on parle du secteur industriel diffus, mais qui concentre à lui seul 90 % des 3 millions d'emplois industriels.

10 À 15 ZONES INDUSTRIELLES

... concentrent environ **3/4 des émissions de GES** de l'industrie.

Émissions industrielles de GES en 2023 selon les territoires



Sources : European Union Transaction Log, EuroGeographics, OpenStreetMap, Geoapify, Natural Earth, 2023

Auteur / Traitement : Cédric Rossi, 2024

Bien que concentrées sur des émissions de CO₂, les émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie ont diverses origines :

- 77 % sont des émissions de CO₂ liées à la combustion de fossile ;
- 14 % sont des émissions de CO₂ issues de réactions chimiques dans les procédés (exemple : clinkérisation) ;
- 9 % sont des émissions d'autres gaz à effet de serre (HFC, N₂O, etc.).

► Cela nécessite donc d'activer différents leviers de décarbonation.

Différents leviers technologiques pour décarboner l'industrie



SOBRIÉTÉ, EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET RÉCUPÉRATION DE CHALEUR FATALE

Sobriété : privilégier des actions qui réduisent les consommations en énergie, mais aussi les consommations en matière pour en aval aussi réduire la production de déchets.

Efficacité énergétique : améliorer la performance des technologies et des procédés (remplacer un équipement peu performant ou ajouter des équipements auxiliaires) pour réduire les consommations énergétiques.

Récupération de chaleur fatale : valoriser ces gisements de chaleur pour faire des économies d'énergie.

- Pour les gisements de chaleur à haute température, avec une valorisation directe en interne, pour des besoins de chaleur propres à l'entreprise, ou une valorisation en externe, pour des besoins de chaleur d'autres entreprises ou d'un territoire via un réseau de chaleur.
- Pour les gisements de chaleur à basse température via des pompes à chaleur (PAC). Cette technologie permet de réhausser la température de la source de chaleur au niveau souhaité entre 50°C et 150°C, afin de l'exploiter dans un autre procédé. En dernier recours, pour une transformation en électricité, via par exemple une machine à cycle organique de Rankine (ORC). Cette valorisation électrique est à considérer uniquement si une valorisation thermique n'est pas possible, en raison du faible rendement énergétique de ces machines.



SUBSTITUTION DES ÉNERGIES CARBONÉES

Modification du mix énergétique en particulier pour la production de chaleur (vapeur, eau chaude, etc.) qui représente 2/3 des consommations d'énergie. Cela doit permettre de réduire les émissions liées à l'usage d'énergie fossile, en s'appuyant sur :

- L'intégration des énergies renouvelables thermiques dans les procédés industriels : biomasse, géothermie, solaire thermique, etc.
- L'électrification directe des procédés industriels : pompe à chaleur (PAC), recompression mécanique de vapeur (RMV), etc.
- L'électrification indirecte des procédés industriels via l'hydrogène (H₂) renouvelable ou bas carbone quand l'électrification directe n'est pas possible, en particulier pour des procédés industriels haute température.



MODIFICATION DES INTRANTS MATIÈRES

Repenser les choix de matières premières peut aussi permettre de réduire ses émissions de GES, par exemple :

- **Incorporation de matière recyclée** : utilisation de matières premières de recyclage (ferraille, alu, etc.) en métallurgie, de calcin recyclé dans l'industrie du verre, de papier recyclé dans l'industrie du papier-carton, etc.
- **Substitution par des intrants matières décarbonés : utilisation d'autres ressources générant moins d'émissions dans le procédé industriel.**
 - Substitution au clinker par des argiles calcinées dans l'industrie cimentière ;
 - Utilisation de matériaux biosourcés ;
 - Utilisation d'hydrogène (H₂) bas carbone ou renouvelable dans les procédés de production de l'ammoniac ou de l'acier.

Plus globalement, l'efficacité matière permet d'utiliser la juste quantité de matières, en produisant mieux avec moins et en limitant les pertes, les rebuts et les invendus à toutes les étapes de la production.

On peut classer également dans cette catégorie les modifications de procédés permettant de **réduire les émissions d'autres GES** que le CO₂, comme le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), les hydrofluorocarbures (HFC), etc.



CAPTAGE ET STOCKAGE DU CO₂ (CCS)

Si une décarbonation complète ne peut être atteinte avec les leviers précédents (notamment les émissions résiduelles incompressibles issues de réactions chimiques), des technologies de captage et stockage géologique du CO₂ peuvent être envisagées.

Ce stockage géologique de CO₂ reste dépendant de la proximité des capacités de stockage on-shore (à terre) ou off-shore (en mer), et donc de la proximité d'infrastructures d'acheminement du CO₂ vers ces capacités, de sa viabilité technico-économique ainsi que d'enjeux d'acceptabilité sociale.

Par ailleurs, les projets de valorisation du CO₂ capté (CCU) ne contribuent à la décarbonation de l'industrie que s'ils valorisent des produits séquestrant le carbone sur une longue durée (minéralisation par exemple).

Principaux défis de la décarbonation

CHOISIR LES LEVIERS TECHNOLOGIQUES ADAPTÉS À SON SECTEUR ET À SON SITE

Intégrés aux procédés industriels, les différents leviers technologiques peuvent être très capitalistiques, **avec des technologies matures** (efficacité énergétique, récupération de chaleur, combustibles moins carbonés...) **ou non matures** (électrification de certains fours, nouveau procédé de synthèse décarboné pour la chimie, anode inerte pour la fabrication de l'aluminium, captage et stockage de CO₂ (CCS), etc.), nécessitant encore un soutien à l'innovation.

MAINTENIR LA COMPÉTITIVITÉ AVEC DE NOUVEAUX MARCHÉS BAS-CARBONE

La décarbonation est **un impératif de compétitivité**, voire de survie pour l'industrie française, dans un contexte haussier des prix du CO₂ et de l'énergie qui impacte les résultats des sites les plus énergivores. Mais elle peut aussi être imposée par des exigences des groupes industriels vis-à-vis de leurs fournisseurs ou des collectivités dans leurs marchés publics.



ACCÉDER AUX INFRASTRUCTURES OFFRANT UNE ÉNERGIE DÉCARBONÉE

La **planification des infrastructures nécessaires** (renforcement des réseaux d'électricité, approvisionnement en H₂ renouvelable ou bas carbone, etc.), ainsi que les questions d'**accès aux ressources décarbonées** (biomasse, électricité, etc.) vont être déterminantes.

ANTICIPER LA NÉCESSAIRE ÉVOLUTION DES EMPLOIS ET COMPÉTENCES

Un accompagnement à long terme des territoires concernés sera nécessaire, en particulier concernant la reconversion des emplois et les nouvelles compétences à acquérir pour intégrer les technologies de décarbonation.

Pour aller plus loin et structurer votre démarche de décarbonation :

<https://agirpoulatransition.ademe.fr/entreprises/demarche-decarbonation-industrie>

Plans de transition sectoriels : des outils de modélisation de trajectoires sectorielles



Pour éclairer les choix d'investissements, l'ADEME établit des Plans de Transition Sectoriels (PTS) des 9 secteurs de l'industrie dits énergointensifs pour éclairer les choix complexes et modéliser des trajectoires d'investissement pour les décarboner.

Les secteurs non couverts par les PTS ADEME disposent d'un guide méthodologique pour la rédaction de leur PTS.



SCÉNARIOS

- Efficacité matière/recyclage
- Efficacité énergétique
- Énergies décarbonées
- CCS/CCU

TECHNO

FINANCE

- Coût d'abattement des technologies
- Structure de coûts (OPEX/CAPEX)
- Investissements

- Évolution de la demande
- Emplois/compétences
- Modèles économiques
- Analyse de risques

MARCHÉ

PLANS D'ACTIONS
publiques
& privées

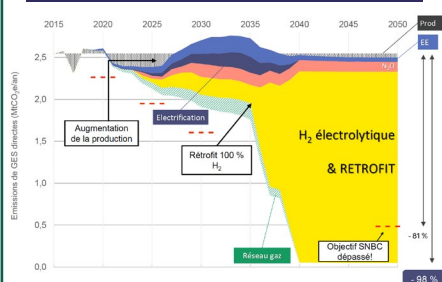
- Taxes, subventions, etc.
- Politiques européennes
- Financement privé

Ces scénarios sont réalisés en concertation avec les industriels, afin d'établir différentes trajectoires de décarbonation **détaillant les aspects technologiques mais aussi économiques** et des pistes d'actions pour atteindre les objectifs de la Stratégie Nationale Bas Carbone.

Exemples de résultats présentés dans les PTS

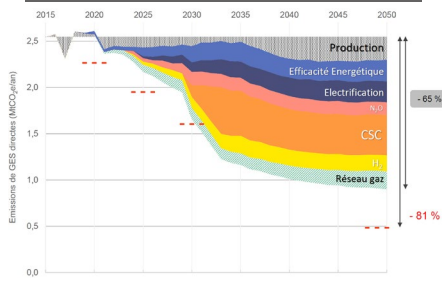
Trajectoires de décarbonation du PTS Ammoniac : des scénarios contrastés pour éclairer les enjeux de décarbonation de la filière.

Résilience et ammoniac « renouvelable »



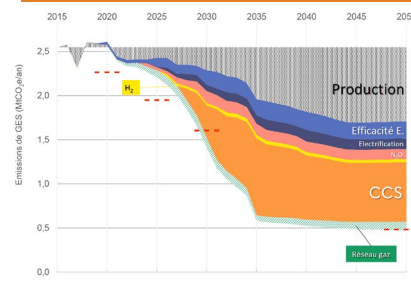
-98 % Réduction GES en 2050
(-25 % en 2030) vs 2015
+2 000 M€ CAPEX

Tendanciel et décarbonation incrémentale



-65 % Réduction GES en 2050
(-35 % en 2030) vs 2015
800 M€ CAPEX

Mondialisation et engrais « bas carbone »



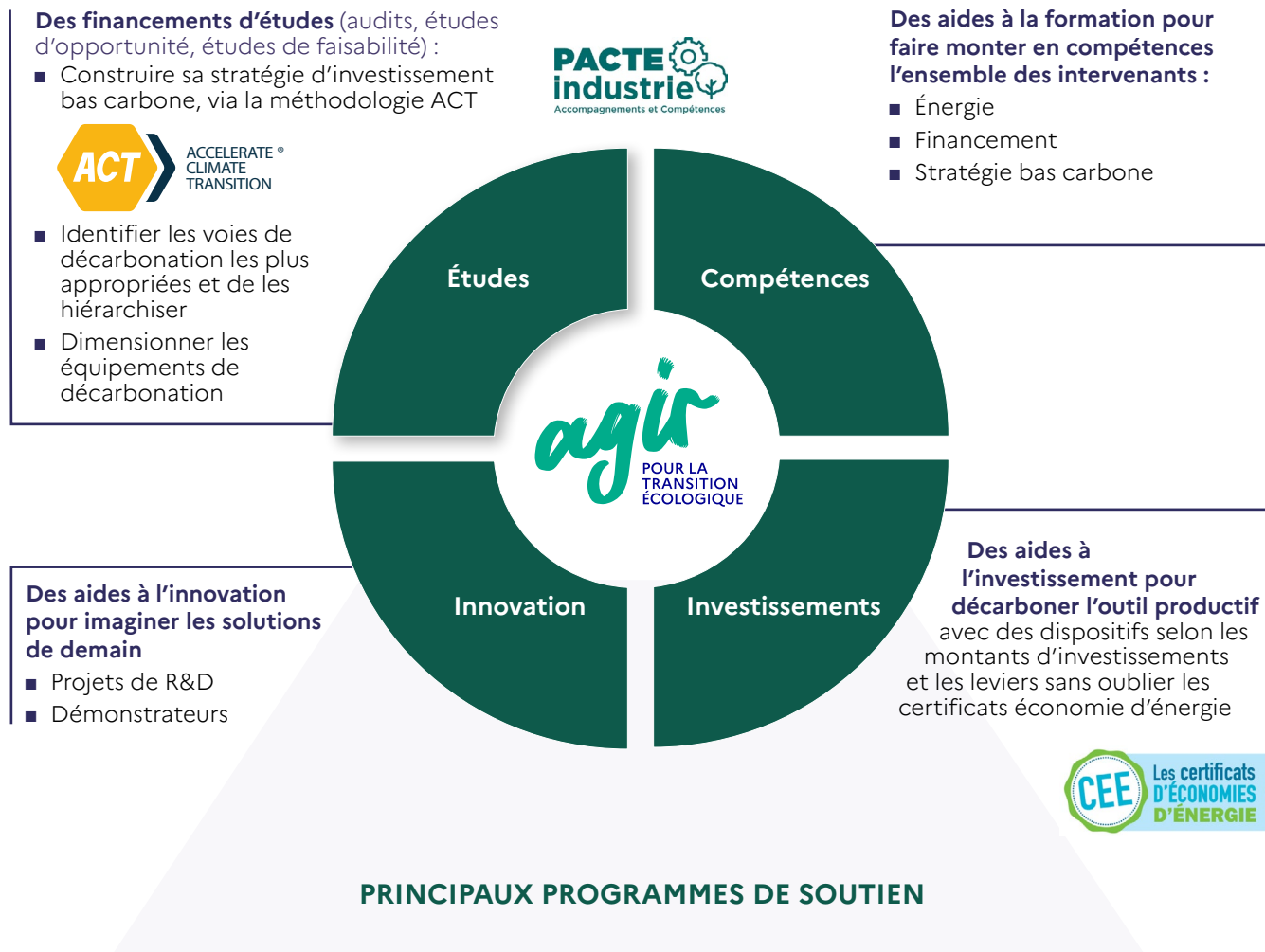
-81 % Réduction GES en 2050
(-45 % en 2030) vs 2015
+650 M€ CAPEX

Pour en savoir plus sur les PTS : <https://finance-climact.fr/actualite/plans-de-transitions-sectoriels/>

Pour accéder au guide méthodologique : <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/6780-guide-methodologique-pour-la-redaction-d-un-plan-de-transition-sectoriel-pour-la-decarbonation-de-l-industrie.html>

Principaux dispositifs de soutien pour accélérer et amplifier la décarbonation

L'ADEME accompagne l'ensemble des étapes de décarbonation des sites industriels par différents dispositifs de financement disponibles via le site <https://agirpourlatransition.ademe.fr/>



En partenariat avec l'ATEE, l'ADEME offre aux entreprises industrielles un panel de formations et d'accompagnements pour les guider vers le passage à l'action grâce au Programme PACTE Industrie.

Et, en partenariat avec Bpifrance, l'ADEME soutient la mise en œuvre de bilans de gaz à effet de serre dans les entreprises :



<https://pacte-industrie.ademe.fr/>

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, du ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Retrouvez tous nos dispositifs sur :

agir
POUR LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE



<https://agirpourlatransition.ademe.fr/>