

Plans de Transition Sectoriels

Mémo d'analyse des enjeux de décarbonation du secteur

CHIMIE

ETHYLÈNE & CO – DICHLORE – AMMONIAC



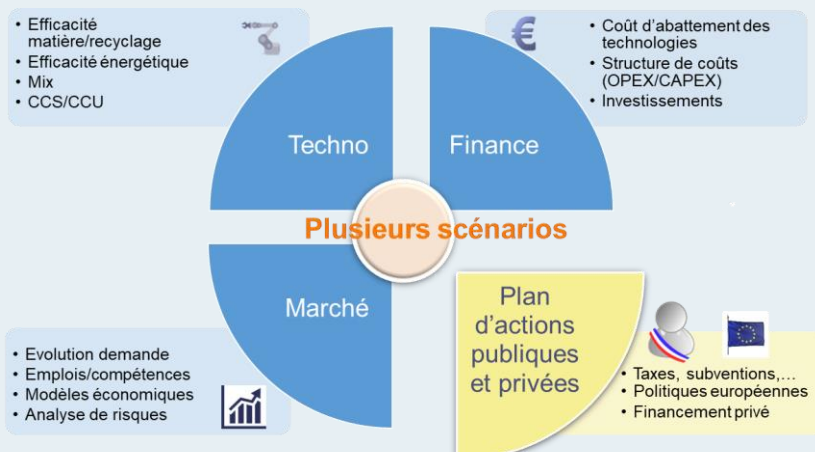
Qu'est-ce qu'un Plan de Transition Sectoriel ?

Les « Plans de Transitions Sectoriels », pilotés par l'ADEME, constituent l'une des actions du projet LIFE Finance ClimAct.

Objectif :

Favoriser l'investissement dans la transition de l'industrie écono-intensive française pour viser sa décarbonation à horizon 2050, en tenant compte des spécificités de chaque filière

Le Plan de Transition Sectoriel (PTS) est un travail d'élaboration d'outils d'accompagnement au dialogue prospectif dans 9 filières industrielles, en concertation avec les acteurs des secteurs (industriels et fédérations). Réalisé sur une durée de 12 à 18 mois, un PTS construit des scénarios de décarbonation visant à atteindre les objectifs énergie-climat de la France à horizon 2050 (- 81 % des émissions par rapport à 2015 pour l'industrie), quantifie les impacts sur les coûts de production, évalue les besoins d'investissements climat et analyse les mutations en emplois. Enfin, le Plan de Transition Sectoriel propose des actions publiques et privées qui permettent de mettre en place les conditions socio-économiques nécessaires à la décarbonation du secteur.



La vision 360° pour éclairer la transition du secteur vers la neutralité carbone.

Ce document est le premier livrable du PTS chimie. Il a pour objectif de présenter les enjeux clés de la décarbonation du secteur à un public large pour ouvrir le dialogue dans le cadre de la réflexion sur le plan d'actions. Il a été réalisé en s'appuyant sur une recherche bibliographique et sur les premiers échanges avec les industriels du secteur. Ces résultats et propositions seront approfondis pendant les prochaines étapes du projet.

Chiffres clés – INDUSTRIE CHIMIQUE



Des sites chimiques nombreux ...

- La France est le **2^{ème}** producteur en Europe après l'Allemagne et le 7^{ème} dans le monde
- 6 000 sites et 3 000 entreprises (dont 94 % de TPE/PME) fournissent **~170 000 emplois directs** (6 % de l'industrie) (Source : France Chimie 2019)

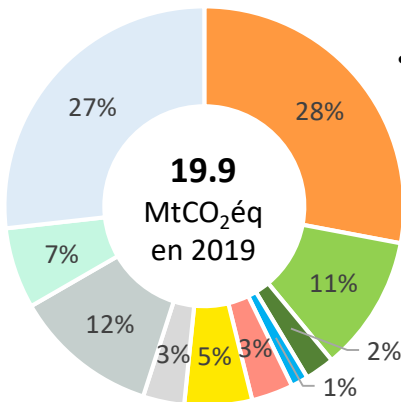
Un secteur tourné vers l'innovation

En 2019 :

- **74 Mds €** de chiffre d'affaire et une valeur ajoutée de 20 Mds €
- **3.8 Mds €** d'investissements matures et **1.8 Mds €** d'investissement R&D (Source : France Chimie 2019)

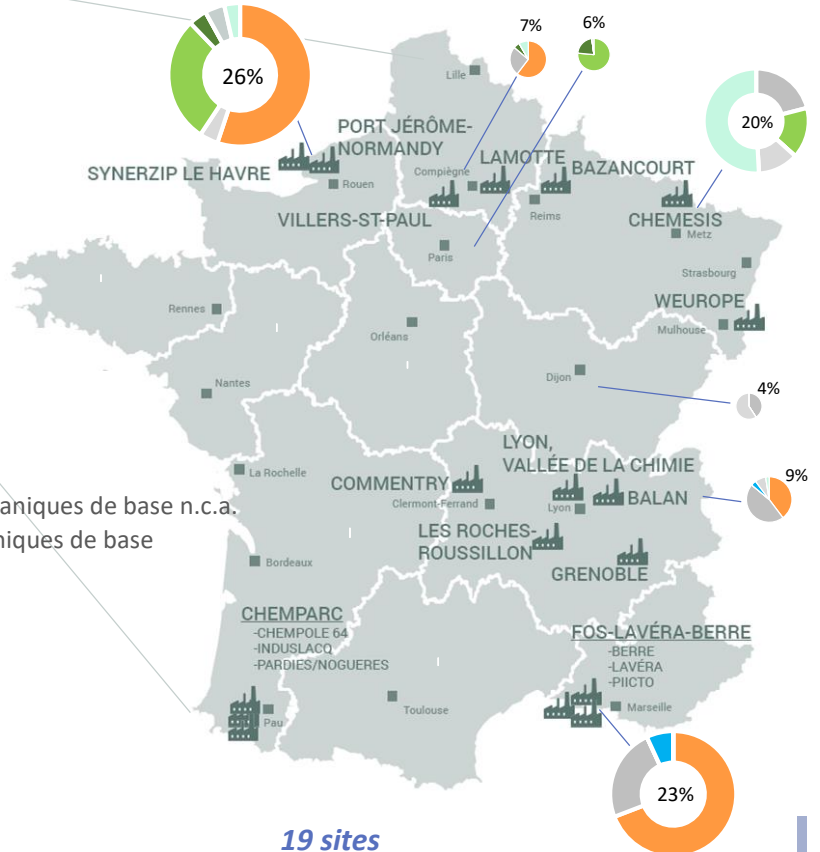
... mais des émissions concentrées et localisées

- La chimie représente **26% des émissions de l'industrie**, 5 % des émissions de GES françaises (CITEPA Secten), 34 % de l'énergie thermique de l'industrie et 20% de l'énergie électrique. (CEREN)
- **18 plateformes chimiques en France** regroupant 140 acteurs autour de services partagés et de synergies énergétiques et matières.



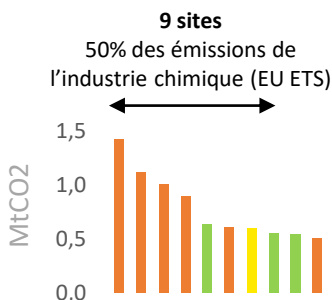
Source : Citepa, avril 2020

- Site produisant de l'éthylène&Co
- Site produisant de l'ammoniac
- Fabrication de produits azotés et d'engrais
- Sites produisant du dichlore
- Site produisant de l'hydrogène
- Site produisant de (bi)carbonate
- Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base n.c.a.
- Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base
- Autres Chimie
- Hors SEQE



19 sites

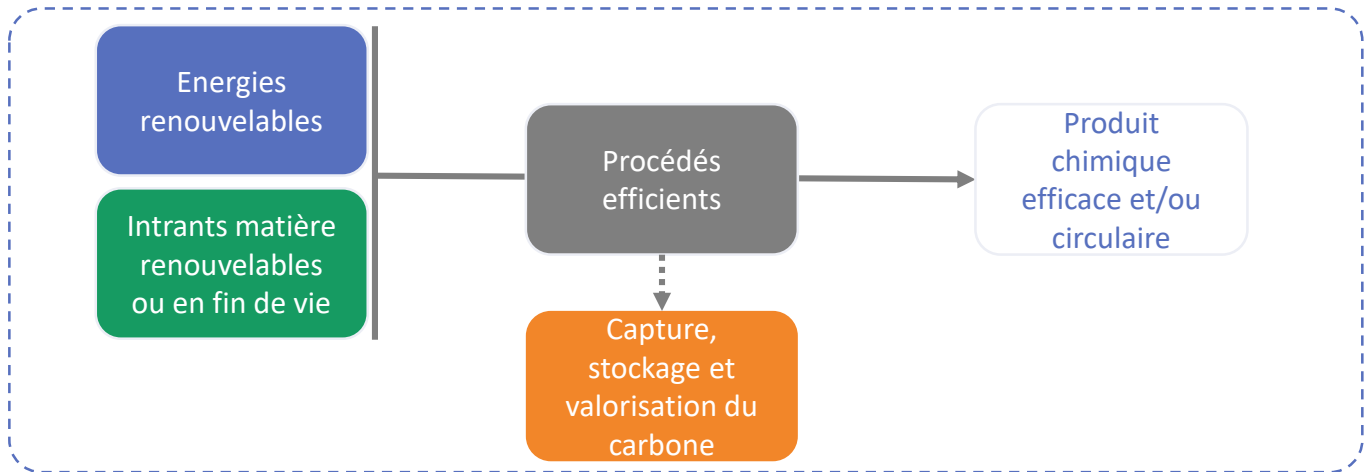
couverts par les Plans de Transition Sectoriels représentant **42% des émissions totale de l'industrie chimique**



INDUSTRIE CHIMIQUE

Les enjeux de décarbonation

75 % des émissions de l'industrie chimique sont soumises au système européen d'échanges de quotas EU ETS, ce qui fera du prix du carbone un facteur déterminant pour la transition. La décarbonation doit prendre en compte les spécificités de chaque sous-secteur, cependant, différents leviers peuvent être activés en amont et en aval des procédés de synthèses, ce qui nécessite d'avoir une vision globale de l'industrie chimique



Les grandes pistes

Energies renouvelables

- Chaleur renouvelable biomasse et combustibles solides de récupération
- Electrification des fours et systèmes de chauffage (résistances, pompe à chaleur, plasma, énergies radiantes, etc.)
- Nouveaux procédés électrifiés : électrochimie, séparation membranaire, photochimie, etc.

Intrants matière renouvelables

- Utilisation d'hydrogène bas carbone
- Incorporation de matières premières recyclées (plastiques recyclés) ou biosourcées (ex : conversion du glycérol en acide acrylique, production d'isobutène biosourcé, etc.)

Procédés efficaces

- Intensification des procédés de production (ex : distillation réactive, broyage réactif, réacteurs membranaires, flow chemistry)
- Développement de catalyseurs plus efficaces
- Récupération de chaleur fatale
- Autres investissements en efficacité énergétique pour atteindre les Meilleures Techniques Disponibles

Capture, stockage et valorisation du carbone

- Capture du carbone, d'origine fossile ou biogénique
- Stockage du carbone (géologique, sols et forêts)
- Valorisation du CO₂ capté pour la production chimique (production d'éthanol, de méthanol, acide salicylique, acide succinique, diméthyléther..)

Produit chimique efficace et/ou circulaire

- Innovation pour créer des matériaux performants, durables, réutilisables, compostables, recyclables.

Les plastiques

Focus



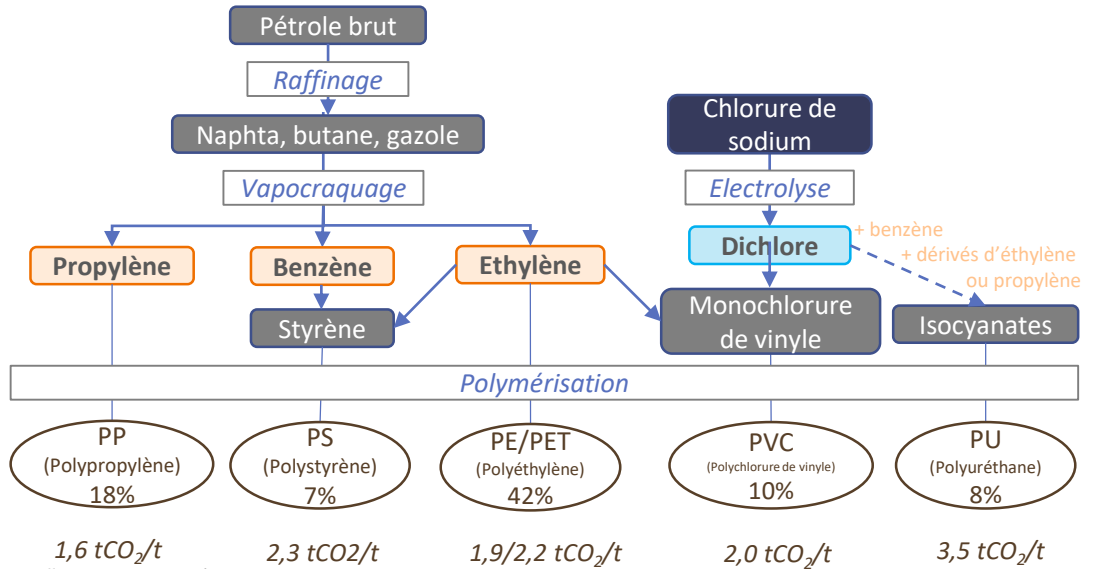
500 producteurs de résines et plastiques
4000 plasturgistes (dont 56 % TPE)
130 000 salariés



Chiffre d'affaires : 30 Mds €
Solde commercial : -4 Mds €
pour 8 Mds € d'exports

(Source : BNR 2008-2017 ; Les filières de recyclage des déchets en France métropolitaine, 2020)

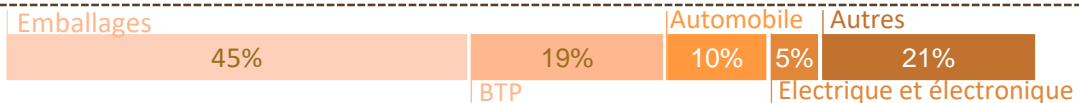
Production



Répartition de la demande en France
(BNR 2017)

Facteur d'émissions
(Plastics Europe Eco-profiles, cradle-to-gate system)

Utilisation

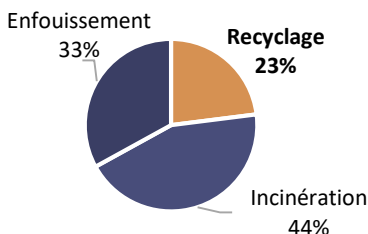


Un matériau léger et multifonctionnel contribue à l'efficacité énergétique et limite le gaspillage alimentaire.

(Source : BNR 2017)

Fin de vie

Traitement des déchets plastiques en 2018 en France



La fin de vie des plastiques représente 60 % de ses émissions lorsqu'ils sont incinérés.

≈2,5 tCO₂e et ≈10 MWh évités par tonne de MPR produite

- 3.4 Mt de déchets plastiques produits en 2016 soit 50 kg par personne.
- Seulement 1/5 sont collectés pour recyclage, et le taux de production de MPR vs. la production MPV est de 10 %.
- Faible recouvrement entre site de régénération plastiques et producteurs de résines vierges (1 site pour 6 producteurs).
- La France est exportatrice nette de déchets plastiques (exportations : 45 % de la collecte ; importations : 10 %).

Exemple de réglementations favorisant l'économie circulaire
(Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire, loi TECV et FREC 2018)

- Interdiction progressive de certains produits en plastique à usage unique
- Tri 5 flux obligatoire et extension des consignes de tri
- 100 % plastiques recyclés d'ici 2025
- Ecoconception : produits monomatériau, indice de durabilité, pièces détachées
- Taux minimum d'incorporation de matière recyclée pour les bouteilles boisson à usage unique uniquement
- Commande publique favorisant le réemploi et le recyclage
- Création de nouvelles filières de Responsabilité Élargie du Producteur

(Source : BNR 2017)

Ethylène & Co

Production et marchés

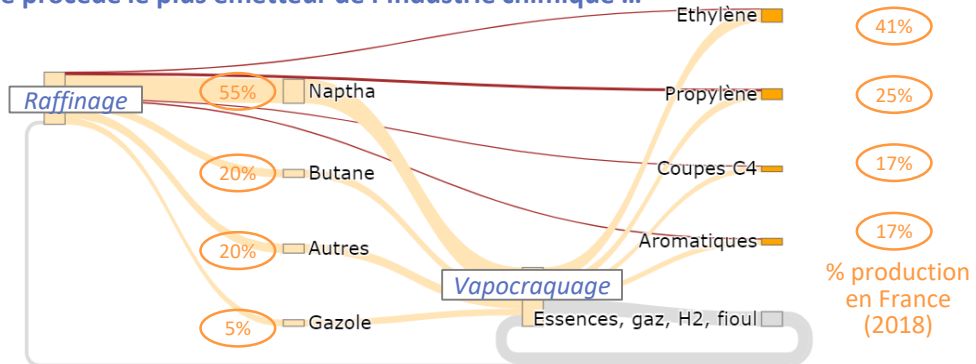
5.6
MtCO₂/an

6 vapocraqueurs en France
produisant **5.4 Mt** d'alcènes
et aromatiques en 2018

5 acteurs :
• Total
• INEOS
• Exxonmobil
• Lyondellbasell
• ENI

~65 % des produits
issus du vapocraquage
utilisés pour fabriquer des
plastiques

Le vapocraquage : le procédé le plus émetteur de l'industrie chimique ...



Le vapocraquage est un procédé pétrochimique qui permet de produire des alcènes en cassant des coupes pétrolières telles que le naphta, le butane ou l'éthane. En fonction des intrants, la répartition des produits sortants varie : le vapocraquage de l'éthane produit principalement de l'éthylène alors que la répartition est plus diversifiée pour une base naphta. La ressource fossile : **75 % du coût de production** des alcènes.

Le vapocraquage s'effectue par vaporisation du combustible à 800 °C nécessitant la combustion de **25 % de la ressource fossile** : cela représente la **quasi-totalité des émissions de GES**.

Besoins énergétiques par tAlcènes

Feedstock	13-15 MWh
Combustion	3-5 MWh
Electricité	0.05 MWh

Les étapes du procédé de vapocraquage



... peu affecté par le prix du CO2

Le vapocraquage au cœur du cycle de vie des plastiques

Emissions (tCO2e/tProduits)	Extraction	Raffinerie	Vapocraquage	Polymérisation	Incinération
Scope 1+2, valeurs EU avec mix élec FR	0.37	0.13	0.85	0.6-2.0	3.1
Vapocraquage du naphta					

0.702 tCO2/t
Benchmark EU ETS &
Taxonomie EU

Des usines intégrées pour soutenir un marché cyclique et une guerre des prix à l'échelle internationale

La France est le 3^{ème} producteur de plastiques européen et est en quasi autonomie sur la production d'oléfines : **98 %** de la consommation d'éthylène est produite sur le territoire. Cependant elle **importe 30 % de sa consommation de plastiques**. Après une forte baisse entre 2005 et 2009, la consommation française de résines vierges et aromatiques est repartie à la hausse pour atteindre 5.3 Mt en 2018.

La compétition internationale est exacerbée par **l'inégalité de l'accès aux ressources fossiles** et les **récents investissements américains de vapocraquage d'éthane** issu du gaz de schiste (100 milliards de dollars d'investissements annoncés en 2014 pour 148 projets). Le coût de production d'alcènes en Europe à partir de naphta est **2.5 fois plus élevé** qu'au Etats Unis à partir d'éthane. En 2019, INEOS a annoncé la construction d'un vapocraqueur à éthane de 1.25 Mt à Anvers pour 3.4 Mds €.

Les vapocraqueurs européens au naphta restent compétitifs grâce à la **diversité de leurs produits** et une **chaîne de production de plastiques intégrée sur les plateformes chimiques**.

Ethylène & Co

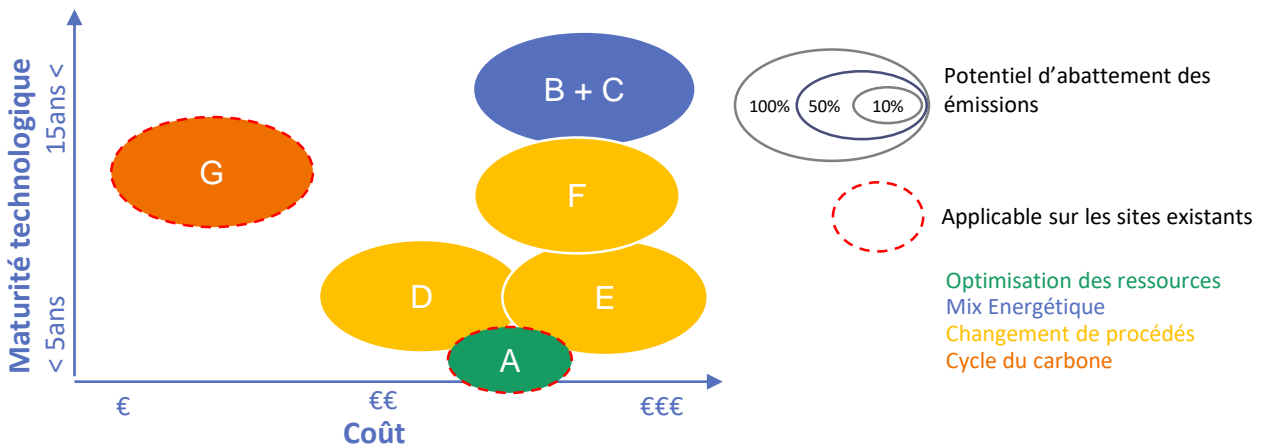
Leviers de décarbonation

L'écoconception et le recyclage : voies privilégiées pour des plastiques plus durables.

De grands projets de décarbonation par électrification ou changements de procédés peuvent **permettre de décarboner à 100 % la production primaire d'éthylène & co**. Les modes de production alternatifs sont à des stades de développement variés mais nécessiteront de forts investissements. Ainsi, contrairement à certains secteurs, la **capture du carbone sera compétitive économiquement par rapport à d'autres leviers de décarbonation**.

Détail/barrières identifiées

A	Vapocraqueur aux Meilleures Techniques Disponibles	Optimisation énergétique pour atteindre 12 GJ ou 3.3 MWh par tAlcènes
B	Combustible biosourcé	Mise en place d'une filière de biodiesel/bio-naphta
C	Electrification du vapocraqueur	BASF, Borealis, BP, LyondellBasell, SABIC et Total associés dans le consortium « Cracker of the Future » pour un vapocraqueur électrique.
D	« Methanol to Olefin » : synthèse d'alcènes et aromatiques à partir de CO ₂ et de H ₂ décarboné	Coût de production 2-3 fois plus élevé (DECHEMA, 2019) 3.9 tCO ₂ et 0.5tH ₂ /tonne d'alcènes
E	Bioéthylène par déshydratation du bioéthanol	Coût de production ~4 fois plus élevé (DECHEMA, 2019)
F	Recyclage chimique ou biologique	Dépolymérisation de plastiques usagés (solvolyse, pyrolyse ou gazéification) recyclage mécanique en premier lieu
G	Capture du carbone sur le vapocraqueur et l'incinérateur : le CO ₂ issu du vapocraquage est concentré ce qui permet une capture efficace	CAPEX et OPEX élevés. Les usines proches de sites de stockage géologique pourront envisager le CCS, les autres l'utilisation chimique (CCU).



Exemples d'actions pour mettre en place un contexte favorable à l'investissement

Bonnes pratiques	Réglementation	Soutien financier
Transparence sur l'empreinte carbone des emballages	Encadrement réglementaire et transparence sur l'écoconception des produits	Dispositifs de soutien financier au déploiement de long terme (CAPEX, Carbon Contracts for Difference, visibilité sur le prix de l'électricité)
Engagements des plasturgistes à réintégrer la matière première recyclée	Mécanismes limitant les fuites de carbone et les fuites de déchets plastiques collectés	Soutien financier en R&D et innovation, en particulier sur les sujets de recyclage
	Mécanisme de soutien économique à l'incorporation de matière première recyclée	

Dichlore

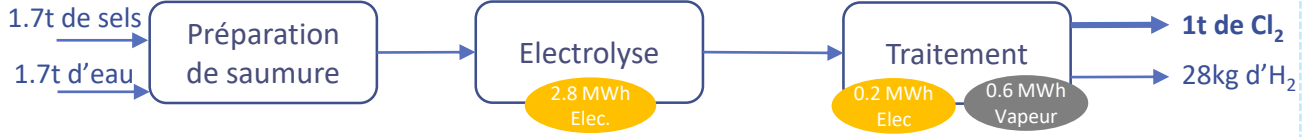
Production, marchés et leviers de décarbonation

0,5
MtCO₂/an

9 sites de production en France
1.4 Mt de capacité
utilisée à **~80 %** en 2019

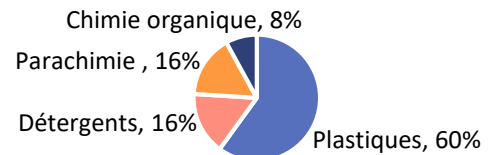
3 acteurs couvrant
75 % de la capacité

Polychlorure de Vinyle (PVC) : ~55 %
de la consommation



- > **85 %** de la capacité installée sur le processus de production le plus performant (procédé d'électrolyse de l'eau à membrane).
- Un processus électro intensif : **~3 MWh/tCl₂**. L'énergie représente **plus de 50 % des coûts**.
- En France, la **vapeur et l'électricité** représentent chacune **~50 % des émissions directes et indirectes** (vs. 17/83 % à l'échelle européenne).
- Référence Taxonomie EU : **2.45 MWh/tCl₂** et un mix électrique peu carboné (< 100 kg CO₂/MWh)

- Le dichlore est un produit dangereux et se transporte peu. La production française couvre la demande nationale.
- Des usages divers comme intrant ou solvant.

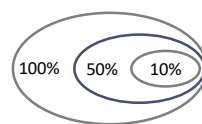
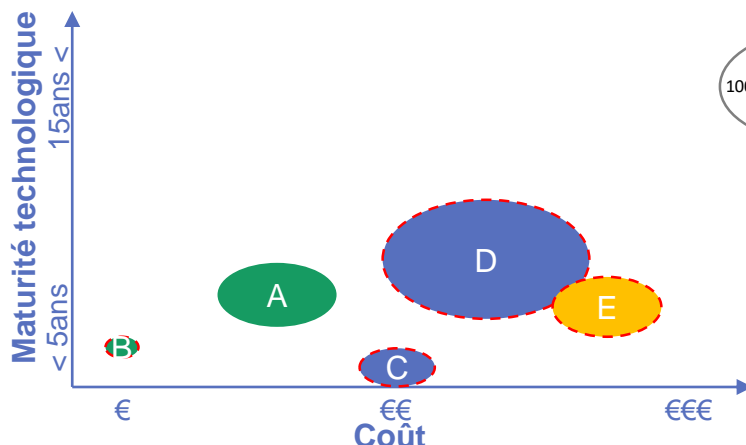


Sources principales : Eurochlor, Negawatt, CEREN, France Chimie

Les leviers de décarbonation de la production de dichlore concernent principalement les **économies d'énergie** et l'utilisation de **chaleur décarbonée**.

Détail/Barrières identifiées

A	Recyclage du chlore	Ex : recyclage matière du PVC ou incinération
B	Valorisation de l'hydrogène co-produit	D'après Dechema 2018, 9 % de l'H ₂ produit ne serait pas valorisé en Europe
C	Electricité 100 % décarbonée	Indépendant de l'industriel
D	Vapeur 100 % décarbonée (à partir de biomasse, biogas ou H ₂)	OPEX, disponibilité de la ressource biosourcée
E	Retrofit de la technologie membrane : cathode dépolarisée à oxygène	La technologie de la cathode dépolarisée à oxygène permet des économies d'énergie de 30 % mais requiert une meilleure qualité d'oxygène et ne produit plus d'H ₂



Potentiel d'abattement des émissions



Applicable sur les sites existants

Optimisation des ressources
Mix Énergétique
Changement de procédés
Cycle du carbone



Ammoniac

Production et marchés

2.2
MtCO₂/an

4 sites de production en France
1.5 Mt de capacité utilisée à
~80% en 2018

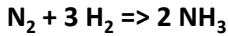
2 producteurs :
Boréalys (73%)
Yara France (17%)

~80 % utilisé pour la
fabrication d'engrais

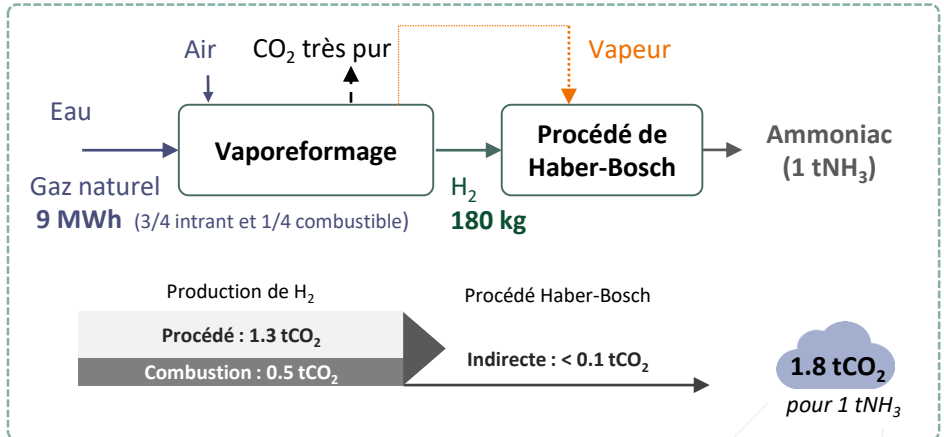
5500 emplois
Produits azotés et engrais

Un procédé optimisé et des émissions concentrées sur la fabrication de l'hydrogène

La production industrielle de l'ammoniac (NH₃) se fait par le procédé Haber-Bosch en combinant diazote et dihydrogène à une température de 450 °C selon la réaction :



Pour 1 tonne d'ammoniac, il faut 820 kg de diazote et 180 kg de dihydrogène. L'azote est apporté par l'air.



En France, l'H₂ est principalement produit par vaporeformage de méthane : entre 700 et 1100 °C, la vapeur d'eau réagit avec le méthane en donnant du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. Le gaz naturel représentait **80 % des coûts de production** d'NH₃ en 2016, dans l'Union européenne, pour un prix moyen du gaz naturel de 4 c€/kWh. Les limites d'optimisation du processus Haber-Bosch seraient atteintes.

1.619 tCO₂
Benchmark EU ETS &
Taxonomie EU
+11 % du coût de production
Sans quotas gratuits et 25 €/tCO₂

Une demande en engrais stable mais diversifiée et de plus en plus importatrice ...

La France produit **34 %** de ses besoins en engrais azotés, **24 %** vient du reste de l'Europe et le reste est **importé** (Egypte, Russie, Etats Unis, Algérie, Trinité-et-Tobago).

La France produit principalement de l'ammonitrate dont la consommation diminue depuis 20 ans au profit de produits importés : l'urée, et la solution azotée mélangeant urée et nitrate d'ammonium.

L'urée, fabriquée à partir d'ammoniac et du CO₂ capté post reformage, a une **empreinte carbone plus faible** que l'ammonitrate mais son potentiel émissif en ammoniac lors de l'épandage est plus élevé. Le « plan de réduction des émissions de polluants atmosphériques » (Prepa) prévoit des restrictions fortes sur l'usage de l'urée dès 2020.

... et une évolution des pratiques agricoles vers plus d'agroécologie et moins d'engrais

En 2019, les engrais représentent **10 % des coûts totaux de production pour une exploitation céréalière moyenne française**.

Le scénario énergie-climat 2035-2050 de l'ADEME (ADEME, 2017) comporte une modélisation de l'évolution du système agricole qui intègre d'une part une évolution de la demande (en particulier évolution du régime alimentaire), mais aussi une évolution des pratiques agricoles vers plus d'agroécologie. Il en résulte **une baisse de consommation d'engrais azoté minéraux de 40 % en 2035 et 50 % en 2050 (sur une base de la consommation 2010)**.



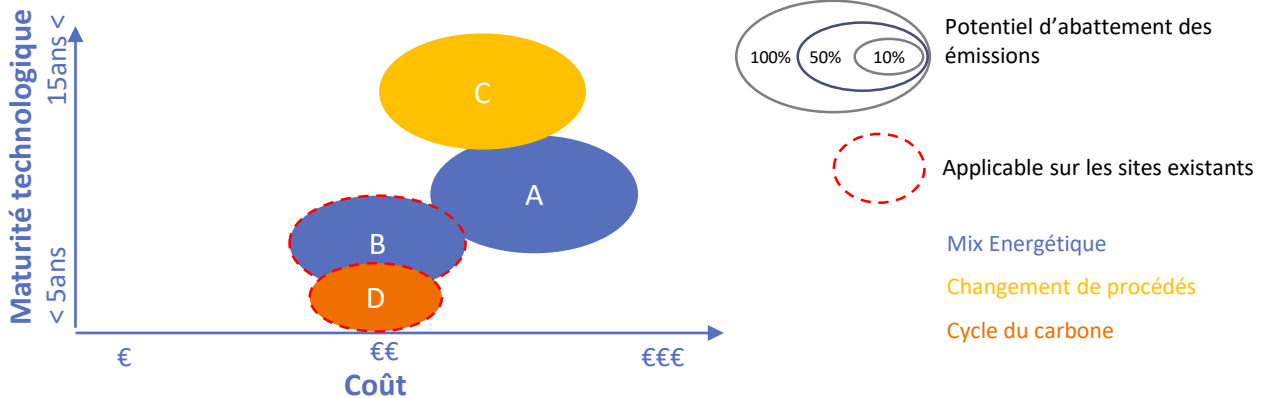
Ammoniac

Leviers de décarbonation

La décarbonation du secteur de l'ammoniac passera principalement par la **décarbonation de la production d'hydrogène**. L'utilisation de **biogaz couplée à des CCS/CCU** et **l'électrification des procédés** sont des voies privilégiées.

Détails/Barrières identifiées

A	Produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau	CAPEX, dimensionnement, raccordement : capacité d'électrolyseurs de 2.2 GW à installer pour produire les 200 kt d'H ₂ nécessaires à la production actuelle
B	Utilisation de biogaz comme combustible et matière dans le processus de vaporeformage	Disponibilité de la ressource : 600 kt de biométhane ou 1000 kt de biogaz -> 40 % de l'objectif de la PPE en 2028
C	Synthèse directe de l'ammoniac à partir de l'eau et l'air sans production intermédiaire d'hydrogène	R&D. Les blocs process peuvent être de petite taille et situés proches de la génération d'électricité et des besoins
D	Capture du carbone : le CO ₂ issu du vaporeformage est concentré ce qui permet une capture efficace	CAPEX, Les usines proches de sites de stockage géologique pourront envisager le CCS, les autres l'utilisation chimique (CCU), déjà déployée



Exemples d'actions pour mettre en place un contexte favorable à l'investissement

Bonnes pratiques	Réglementation	Soutien financier
Dispositifs communs de transparence sur l'empreinte carbone et le procédé de production de l'engrais.	Mécanisme limitant les fuites de carbone et la compétition déséquilibrée entre les pays d'Europe et les pays frontaliers	Dispositifs de soutien financier au déploiement d'électrolyseurs ou de production de biogaz (CCFD, visibilité sur le prix de l'électricité)