



THE CARBON
TRANSITION
THINK TANK

DÉCARBONER LA CHIMIE FRANÇAISE

DANS LE CADRE DU
**PLAN DE TRANSFORMATION
DE L'ÉCONOMIE FRANÇAISE**

JANVIER 2022



Avant-propos

La chimie est l'un des secteurs le plus méconnus du grand public, ne faisant l'actualité que de manière ponctuelle et le plus souvent dans le cadre des problématiques posées par ses activités en matière de sécurité, de risques sanitaires et d'environnement.

Les Françaises et Français ont pourtant, comme le monde entier, développé un appétit insatiable pour ses applications.

Les plastiques en sont la partie la plus visible : nous les critiquons par principe mais nous en consommons toujours plus en pratique, tant dans les emballages que dans la santé ou les applications quotidiennes dans lesquelles ils sont devenus omniprésents.

Mais au-delà des plastiques, la chimie couvre un spectre d'activités et d'usages bien plus large. La chimie fine produit des molécules de base pour l'industrie pharmaceutique ou des parfums pour l'agroalimentaire. Nos climatiseurs ne fonctionnent qu'avec des gaz frigorigènes. Beaucoup de nos vêtements sont confectionnés avec des fibres synthétiques. Notre nourriture abondante et bon marché repose sur des intrants comme les engrais ou les pesticides. Les énergies renouvelables ont elles aussi besoin de chimie, pour les éléments constitutifs du photovoltaïque, de l'éolien, des batteries.

Avec l'aéronautique et les spiritueux, la chimie est l'un des rares secteurs de l'industrie française qui soit en excédent commercial. Mais c'est également le plus gros secteur industriel émetteur de gaz à effet de serre après la sidérurgie : près de 22 MtCO₂e en 2019 soit près de 5 % de nos émissions nationales [1].

Décarboner ses activités n'est pas le premier défi auquel ce secteur s'est trouvé confronté : habitué des contraintes sur ses procédés de production et les effets de ses produits à grande échelle, il a notamment su affronter dans les années 1980-1990 la crise majeure du fameux trou dans la couche d'ozone, provoqué par les CFC et HCFC¹ employés dans les aérosols et les gaz réfrigérants et résorbé avec succès.

¹ CFC : chlorofluorocarbures | HCFC : hydrochlorofluorocarbures

Les efforts historiquement entrepris par la filière jusqu'à aujourd'hui lui confèrent une potentielle culture industrielle de l'adaptation de ses systèmes de production à la contrainte environnementale. Elle ne peut cependant s'affranchir de comprendre et prévoir la complexité des mutations qui s'imposeront dans les trente prochaines années : décarboner la chimie alors que notre consommation ne cesse d'augmenter et que la filière nationale est exposée à une forte concurrence internationale est un défi qui ne peut faire l'économie d'une instruction panoramique et véritable.

C'est ce que qu'ambitionne d'amorcer ce rapport, en apportant les clés de lecture d'une vision systémique, qui place la chimie dans une économie se transformant vers la décarbonation.

Remerciements

Ce rapport est le fruit d'un travail orchestré par l'équipe projet du secteur « Industrie » du PTEF, composée de **Eric Bergé**, chef de projet « Industrie lourde », **Denis Gasquet**, chef de projet « Après-première Vie », **Erwan Proto**, chargé de projet « Industrie » et ingénieur modélisation, **Maxime Efoui-Hess**, coordinateur du secteur « Industrie », ainsi que **Baptiste Andrieu** et **Mathilde Lavelle**, chargés de projet « Industrie » lors de la réalisation de la première version du travail sur l'industrie dans le PTEF, publiée en 2020. L'ensemble de ce travail a été accompagné par **Laurent Morel et Jean-Marc Jancovici**, administrateurs du *Shift Project*.

Les aspects développés sur les emplois, les compétences et la formation ont été construits et développés en collaboration avec **Vinciane Martin** et **Yannick Saleman**, respectivement chargée et chef de projet du chantier transversal sur l'emploi dans le PTEF.

Des professionnels des différents secteurs traités ont contribué à la consolidation du rapport au travers de leur relecture, dont **Eric Bourdon**.

Ce projet a bénéficié de l'apport d'une équipe d'étudiantes et d'étudiants de l'ISAE-Supaéro, encadrée pendant un semestre par le coordinateur de projet Maxime Efoui-Hess, dans le cadre du Projet Ingénierie et Entreprise (PIE). *The Shift Project* remercie l'ISAE-Supaéro et les équipes pédagogiques ayant rendu ce partenariat possible.

The Shift Project et l'équipe projet remercient chaleureusement l'ensemble des étudiants pour leur investissement dans la production de documents et d'analyses de qualité, qui ont été cruciales dans la construction des modélisations et conclusions publiées dans ce rapport :

- Léo Clauzel,
- Damien Glattard,
- Samy Gane,
- Aurélien Mure,
- Elena Zakrjevski.

Ce projet a également reçu le soutien des *Shifters* qui nous ont accordé leur temps, ainsi que des membres de l'équipe de *The Shift Project* dont **Emma Stokking, Ilana Toledano et Pauline Brouillard** qui pilotent la tâche essentielle de rendre lisibles et diffusables les conclusions et messages de nos travaux. Un grand merci également à **Florine Marx, Véronique Molénat, Amal Renne et Ariane Duclert** pour leur relecture !

L'équipe remercie également l'ensemble des personnes qui ont apporté leur aide, leur expertise et leurs conseils dans l'élaboration de cette publication, ainsi que les organisations ayant bien voulu partager certaines données, expertises et avis.

***Les interprétations, positions et recommandations figurant dans ce rapport ne peuvent être attribuées ni aux contributeurs, ni aux relecteurs cités ci-dessus.
Le contenu de ce rapport n'engage que le Shift Project.***

Crédit photo : Louis Reed sous licence Unsplash

Liste des abréviations

CBAM	Carbone Border Adjustment Mechanism
CCS (CSC)	Carbon Capture and Storage <i>(Capture et Stockage du Carbone)</i>
CCUS	Carbon Capture Utilization and Storage
cefic	European Chemical Industry Council <i>(syndicat européen de la chimie)</i>
CNI	Conseil National de l'Industrie
EU ETS	European Union Emission Trading Scheme
FDES	Fiche de Déclaration Environnementale et Sécurité
GES	Gaz à Effet de Serre
HVC	High Value Compound
IEA	International Energy Agency <i>(Agence Internationale de l'Energie)</i>
SNBC	Stratégie Nationale Bas Carbone
UE	Union Européenne
UIC	Union des Industries Chimiques <i>(devenu France Chimie)</i>

Table des matières

AVANT-PROPOS	1
Remerciements	3
Liste des abréviations	5
Table des matières	6
Index des figures	8
Index des tableaux	9
Synthèse	10
LA FILIERE INDUSTRIELLE DE LA CHIMIE DANS LE PTEF	12
I. Un secteur mondialisé et en forte croissance	13
II. Un gros émetteur de GES	14
III. Les clés pour comprendre sa complexité	18
A. Une filière multiple	18
B. Les besoins en énergie de la chimie	19
C. Le régime EU-ETS.....	20
D. Un impact environnemental bien au-delà des GES	21
NOTRE POINT DE DEPART POUR LA CHIMIE FRANÇAISE	22
I. Une filière d'excellence exportatrice	23
II. Des progrès notables dans les émissions de la filière depuis 30 ans	23
DECARBONER LA FILIERE CHIMIE	27
I. Estimation du potentiel de décarbonation des leviers technologiques	28

II. Quels leviers pour décarboner plus vite et se mettre sur la bonne trajectoire ?	30
A. Un effort de sobriété sur les produits clés	30
B. Des changements de rupture dans les procédés.....	35
C. L'utilisation du CCS	40
D. L'opportunité de la réforme des EU-ETS.....	41
E. La décarbonation de la chimie dans le PTEF – vision globale.....	42
 Annexe 1 : Données complémentaires – marché de la chimie et évolution des plastiques	48
 Annexe 2 : La question des coûts – Rendre la production d'ammoniac, donc d'hydrogène, compétitive	49

Index des figures

Figure 1 : Projection du marché mondial de la chimie entre 2019 et 2030 (en €) Source : (cefic, 2021) [2]14

Figure 2 : Projection de l'évolution de la production de matières plastiques entre 2017 et 2050 Source : (IEA, 2018) [4]14

Figure 3 : Cartographie des productions de la filière chimie de l'Union Européenne Source : (IEA, 2018) [4]15

Figure 4 : Chaîne de valeur générique de l'industrie chimique Source : (IEA, 2018) [4]16

Figure 5 : Répartition du marché de la chimie en France Source : (France Chimie, 2020) [6]18

Figure 6: Répartition de la consommation d'énergie par source de la chimie européenne en 2017 (en %) Source : (cefic, 2021) [2]19

Figure 7 : Répartition des productions de la filière chimie européenne en valeur 2018 Source : (cefic, 2021) [2]20

Figure 8: Evolution des émissions GES de l'industrie de la chimie en France, 1990-2019 (en MtCO₂e/an) Source : (CNI, 2021) [12]24

Figure 9 : Intensité énergétique de la chimie dans l'Union Européenne Source : (cefic, 2021) [2]25

Figure 10 : Répartition des émissions de la filière chimie en France en 2018, selon les sites Source : (CNI, 2021) [12]25

Figure 11 : Répartition des émissions de GES de la chimie en France par usage aval Source : calculs de The Shift Project, sur la base de (CNI, 2021) [12]31

Figure 12 : Evolution des émissions GES du secteur de la chimie en France dans le PTEF entre 2015 et 2050 (en MtCO₂e) Source : calculs de The Shift Project43

Figure 13 : Evolution de l'emploi dans la filière chimie en France dans le PTEF Source : calculs de The Shift Project46

Figure 14 : Cartographie des flux de matières énergétiques et non-énergétiques de l'industrie chimique Source : (Levi et Cullen, 2018) [24]48

Figure 15 : Comparaison des coûts de production d'hydrogène Source : calculs de The Shift Project50

Figure 16 : Evolution des prix du gaz naturel en Europe Source : Ycharts51

Figure 17 : Comparaison des coûts de production de l'hydrogène Source : (IAE, 2019) [25]51

Index des tableaux

Tableau 1: Emissions de CO₂ (uniquement) générées par les principaux procédés amont de l'industrie chimique en 2017 Source : (IEA, 2018) [4]17

Tableau 2 : Feuille de route de décarbonation de la chimie en France : trajectoire de la feuille de route du CNI et extrapolation par The Shift Project Source : calculs de The Shift Project et (CNI, 2021) [12]29

Tableau 3 : Détails des leviers technologiques de rupture Source : calculs de The Shift Project et (CNI, 2021) [12]29

Tableau 4 : Emission de GES associées à la production et au recyclage des plastiques, par type de plastique Source : calculs de The Shift Project à partir de (ADEME, 2020) [17]32

Tableau 5 : Origine des engrais azotés en France Source : (unifa, 2019) [5]34

Tableau 6 : Evolution de la production d'engrais azotés en France dans le cas d'une stratégie de réindustrialisation volontaire Source : calculs de The Shift Project38

Tableau 7 : Evaluation la quantité d'électricité associée à la production d'hydrogène par électrolyse pour produire l'ammoniac français Source : calculs de The Shift Project39

Tableau 8 : Potentiel de capture et stockage du carbone pour l'industrie chimique française Source : (ADEME, 2020) [20]41

Tableau 9 : Emplois dans la filière chimie en France en 2016 Source : calculs de The Shift Project à partir (Insee, 2018) [10]45

Tableau 10 : hypothèse de baisse de la consommation de plastique en France Source : hypothèses de The Shift Project49

Tableau 11 : Coût du CCS pour la production d'ammoniac Source : calculs de The Shift Project et (ADEME, 2021) [20]50

Synthèse

Les chimies française et européenne sont parmi les plus haut de gamme du secteur dans le monde. Mais elles reposent avant tout sur la disponibilité d'énergie fossile, le pétrole et le gaz en étant les intrants principaux. La chimie fait à la fois partie des secteurs les plus polluants mais aussi aujourd'hui les plus surveillés et régulés.

Les progrès en matière de réduction des GES ont été réels depuis 1990, tant du côté du N₂O grâce à la mise en place de technologies disponibles que par celle de réduction pour le CO₂ grâce à des gains d'efficacité énergétique supérieurs à 3%/an – rythme bien supérieur à l'économie dans son ensemble.

Sous la pression de réglementations drastiques, la chimie a aussi su résoudre en parallèle deux problèmes environnementaux majeurs : l'élimination des HFC qui détruisaient la couche d'ozone et la réduction drastique des émissions de soufre à l'origine des pluies acides.

La feuille de route conclue entre France Chimie et l'Etat propose une base crédible avec l'utilisation de leviers existants matures pour réduire d'un quart les émissions de la filière d'ici 2030 :

- La baisse de 20 % des émissions de CO₂ par l'amélioration continue des procédés, l'utilisation de sources d'énergie alternatives (biomasse et résidus solides) à la place du gaz et une meilleure récupération des chaleurs fatales ;
- Une division par deux des volumes de HFC émis grâce à la pression réglementaire de l'UE sur les gaz frigorigènes ;
- Une nouvelle baisse de 20 % des N₂O par l'usage de technologies connues et abordables.

La mobilisation de certains leviers aujourd'hui non matures comme l'électrolyse de l'eau pour l'hydrogène, un démarrage du CCS et l'électrification de certains procédés (comme la recompression des vapeurs ou le recours à des pompes à chaleur) permettraient de gagner quelques % supplémentaires pour atteindre une réduction des émissions de la filière d'un tiers à horizon 2030.

Le projet de mise en place d'un CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism), qui progressivement éliminerait les quotas d'émissions gratuits et taxerait les importations, peut créer les conditions économiques nécessaires pour mettre en place ces technologies.

Ce projet européen de CBAM devra être complété par des normes d'usage sur les leviers les plus importants :

- Construction et mise en œuvre d'une trajectoire normative de réduction des contenus carbone des engrais, sur le modèle de la nouvelle norme du secteur de la construction – la norme RE2020. Combinée au CBAM, cette trajectoire aurait pour objectif de créer les conditions nécessaires à la fabrication d'ammoniac pour les engrais à partir d'hydrogène vert. Cet hydrogène vert, fortement consommateur en électricité, doit aller en priorité à la fabrication d'engrais et d'acier.
- Rattrapage des pays d'Europe les plus performants en matière de recyclage du plastique et élargissement de la directive européenne sur le recyclage des emballages plastiques aux emballages à usage non unique.
- Adaptation à la réduction de la demande en plastiques découlant de la réduction des volumes de production des automobiles.

La décarbonation de l'ammoniac par celle de l'hydrogène est notre priorité, devant celle de la production de méthanol et de HVC. Elle permettrait de relocaliser la production d'engrais, de réduire nos importations de gaz naturel et de créer des emplois. Elle demande la mise à disposition de près de 20 TWh d'électricité décarbonée à l'horizon 2050.

La baisse des emplois dans la chimie de base liée à la baisse de la production de résine vierge et de plastique de base devrait être compensée par le développement du recyclage.

Au global, notre plan place la filière de la chimie sur une trajectoire compatible avec une baisse de 80 % de ses émissions territoriales, conformément à l'objectif formulé par la SNBC pour l'industrie. Cela avec un effet créateur d'emplois potentiels dans le recyclage, la production d'engrais bas carbone et la génération d'énergie décarbonée.

01

**LA FILIERE
INDUSTRIELLE DE
LA CHIMIE DANS
LE PTEF**

I. Un secteur mondialisé et en forte croissance

La chimie est présente dans tous les aspects de la vie quotidienne et des activités qui les permettent : engrais, produits en plastiques, détergents, pneus, médicaments, vêtements et tissus synthétiques... Cette omniprésence se confirme et se renforce de plus dans les nouveaux usages : objets digitaux, équipements de la transition énergétique comme les panneaux solaires, les pales d'éolienne et les batteries etc.

La consommation de produits chimiques ne cesse ainsi de croître en France et en Europe :

- La production en volume en Europe, un marché mûr, a augmenté de 14 % entre 2000 et 2019 [2] soit une croissance de 0,7 %/an en moyenne ;
- La chimie en France n'est pas en reste : elle a progressé en volume de 0,3 %/an entre les années 2000 et 2010 et de 0,8 %/an de 2010 à 2019 ;
- En valeur (en € courants), elle a crû de 1,2 %/an entre 2000 et 2010 et de 1,3 %/an depuis 2010 [3].

Les projections des volumes de production de la chimie n'envisagent aujourd'hui aucun ralentissement du marché mondial : celles du Cefic (syndicat européen de la chimie), publiées en 2021, tablent par exemple sur une croissance moyenne de 4,4 %/an en valeur à 2030 (Figure 1). Celles de l'IEA (ou Agence Internationale de l'Energie en français) concernant les volumes de production de plastiques prévoient le même type de dynamiques (Figure 2).

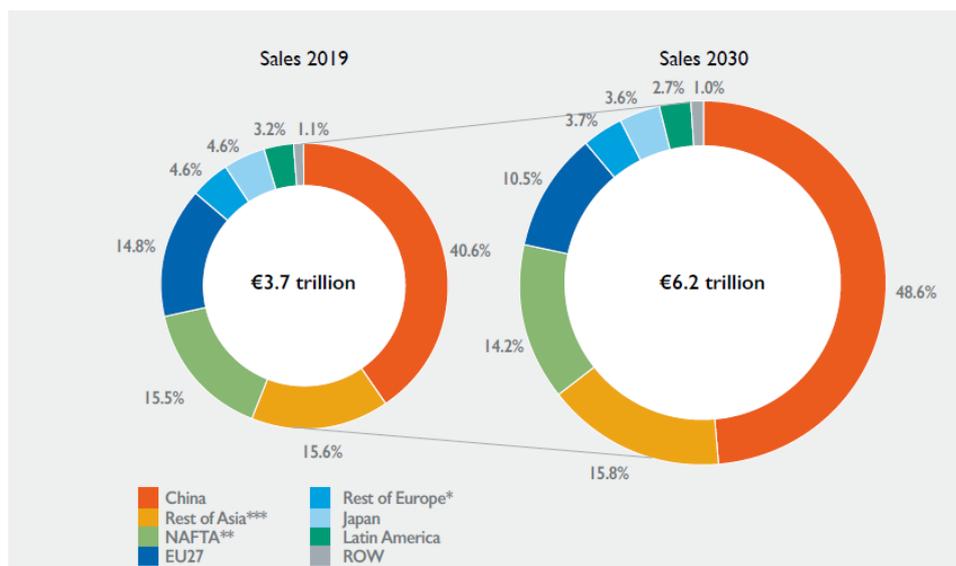


Figure 1 : Projection du marché mondial de la chimie entre 2019 et 2030 (en €)
 Source : (cefic, 2021) [2]

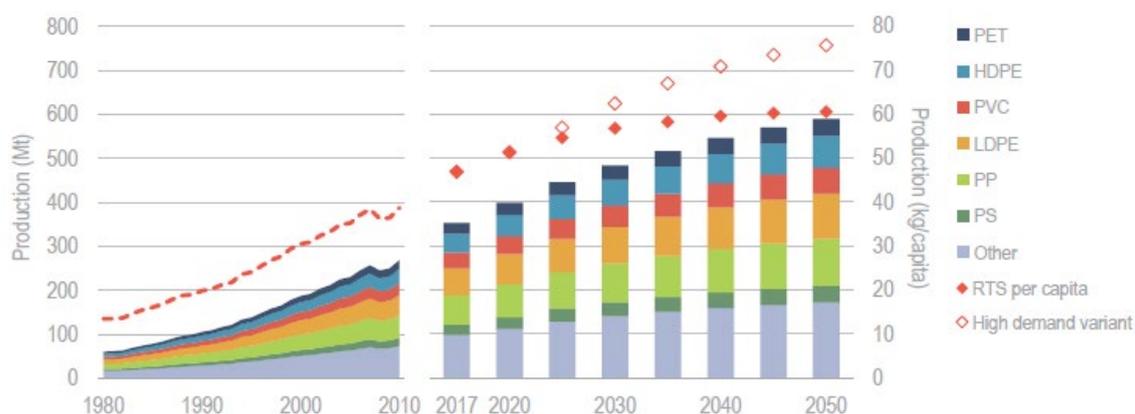


Figure 2 : Projection de l'évolution de la production de matières plastiques entre 2017 et 2050
 Source : (IEA, 2018) [4]

II. Un gros émetteur de GES

La chimie mondiale est l'industrie la plus consommatrice d'énergie dans le monde, et la 3^{ème} plus émettrice de GES, avec 1,9 GtCO₂e annuelles, dont [4] :

- 1,5 GtCO₂ pur ;

- environ 0,4 GtCO₂e d'autres gaz à effet de serre².

En France, la chimie représente 21,5 MtCO₂e annuelles en approche territoriale.

La chimie est un secteur largement mondialisé. Les pays producteurs de pétrole et de gaz ont attiré les investissements dans la pétrochimie, favorisant ainsi leur chimie de commodités (raffinage et chimie de base).

Pauvre en pétrole et en gaz, l'Europe s'est, elle, renforcée dans la chimie de spécialités, à la fois plus riche en valeur ajoutée et moins riche en carbone.

La chimie repose essentiellement sur le pétrole (surtout le naphta en Europe) et les gaz qui permettent de synthétiser les quatre grandes commodités (« *upstream* » ou « *primary chemicals* ») dont découlent les productions avals (« *downstreams* »), selon la chaîne de valeur décrite de manière simplifiée Figure 4.

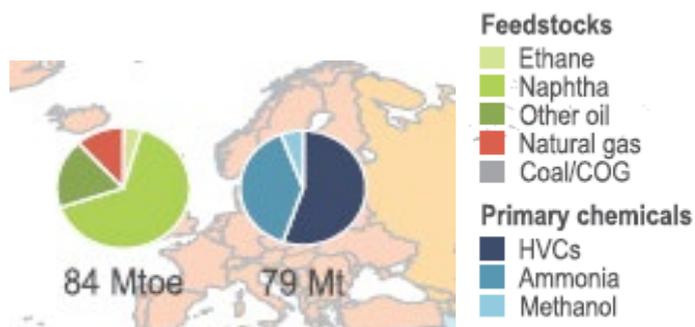


Figure 3 : Cartographie des productions de la filière chimie de l'Union Européenne

Source : (IEA, 2018) [4]

² Dont le CH₄, ou encore dont le N₂O dont le pouvoir radiatif est 300 fois supérieur au CO₂.

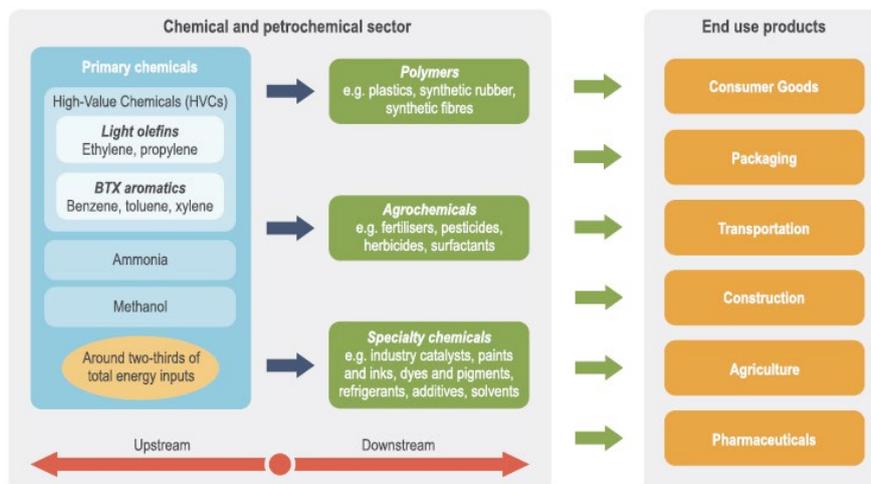


Figure 4 : Chaîne de valeur générique de l'industrie chimique

Source : (IEA, 2018) [4]

Lors de la comptabilisation de la consommation d'énergie totale de la chimie, il faut bien distinguer les différents postes alimentés :

- Les « *feedstock* », qui rassemblent les matières premières de l'amont de la chaîne de valeur (notamment dans le plastique). Il faut apporter le plus souvent du carbone et de l'hydrogène aux procédés, dont les hydrocarbures sont la source la plus abondante et simple d'exploitation :
 - Le pétrole (et sous-produits de raffinage du pétrole) sert principalement aux HVC,
 - Le gaz naturel sert avant tout à la production d'ammoniac et de méthanol.
- L'énergie consommée par les usines et réacteurs pour assurer les réactions chimiques.

En moyenne en Europe, les 2/3 des émissions de CO₂ se font sur les produits chimiques de base [4]. Si on ajoute les émissions des autres GES, en particulier le N₂O émis massivement dans la fabrication d'acide nitrique ou adipique, le bilan s'approche des 70 % [4].

Si en moyenne 85 % des émissions de GES sont liées à la combustion d'énergie fossile, près de 15 % sont issues des procédés – c'est-à-dire produites par la réaction

chimique en elle-même – en particulier pour la production d’ammoniac et d’engrais [4].

L'exemple de l'ammoniac [4]

L’ammoniac est produit à partir de l’azote de l’air et d’hydrogène (procédé Haber-Bosch), selon le procédé suivant :

$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ - le vaporéformage, qui émet de 9 à 11 kgCO₂ par kg de H₂.

$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$

L’ammoniac émet au total près de 2 kgCO₂ par kg produit. Ce chiffre monte à plus de 3 kgCO₂ en Chine en raison de l’usage du charbon.

La fabrication de l’ammonitrate (engrais) se fera ensuite avec l’ammoniac et de l’acide nitrique (également fort émetteur de N₂O).

Le bilan total de la production d’un engrais peut ainsi atteindre les 3,6 kgCO₂e par kg produit.

Emissions de production en 2017 (en tCO ₂ /t)	Monde	UE	Amérique du Nord	Moyen-Orient	Asie Pacifique
HVC	1,05	1	1,2	1,3	1
Ammoniac	2,4	2,2	2	2	2,8
Méthanol	2,3	0,9	0,8	0,9	3,1

Tableau 1: Emissions de CO₂ (uniquement) générées par les principaux procédés amont de l’industrie chimique en 2017

Source : (IEA, 2018) [4]

Les 30 % restants des émissions de la filière proviennent ainsi de la production de chaleur et de la consommation d’énergie pour la partie « downstream », couvrant jusqu’à la chimie de spécialités et la chimie fine (qui fournit notamment l’industrie pharmaceutique).

En France, la répartition est légèrement différente, la chimie de base et de spécialité représentant chacune la moitié des émissions totales du secteur.

III. Les clés pour comprendre sa complexité

A. Une filière multiple

Les débouchés de la chimie sont multiples et complexes, mais peuvent être agrégés en quatre grands types de produits de la chimie de base :

- **Les HVC** seront à la base de la chimie des plastiques dont les débouchés sont l'emballage, les fibres textiles, les biens d'équipement, le bâtiment ;
- **L'ammoniac**, dont 80 % servira à la production d'engrais [5];
- **Le méthanol** sera à la base de la chimie des formaldéhydes ;
- **Le chlore** servira essentiellement à la production de PVC (plastique).

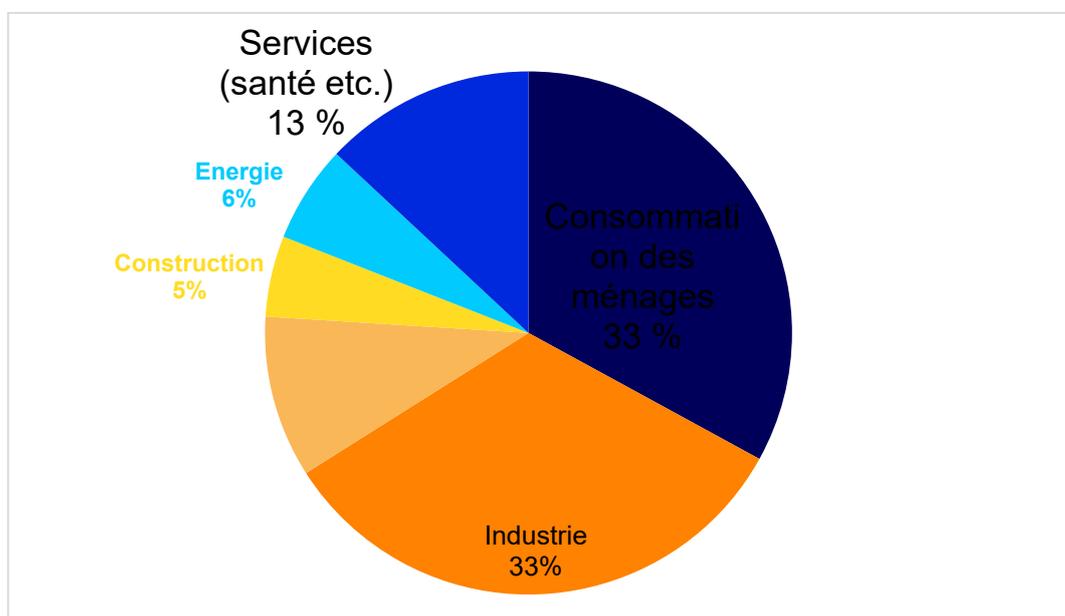


Figure 5 : Répartition du marché de la chimie en France

Source : (France Chimie, 2020) [6]

Cette chimie de base, faite de commodités, fournit à la chimie intermédiaire les intrants qui lui permettront de produire les polymères, les solvants, les ammonitrates etc.³

Ces intermédiaires permettront à leur tour de fabriquer les produits finaux de tous les domaines qui en découlent, avec un éventail de valeurs unitaires très étendu⁴.

Chiffres clés

L'Europe consomme environ 50 Mt/an de HVC sous forme de résine vierge afin de produire environ 65 Mt/an de plastique. La France en utilise environ 5 Mt/an. [4]

B. Les besoins en énergie de la chimie

Le gaz et l'électricité comptent pour 2/3 des besoins d'énergie de la chimie européenne.

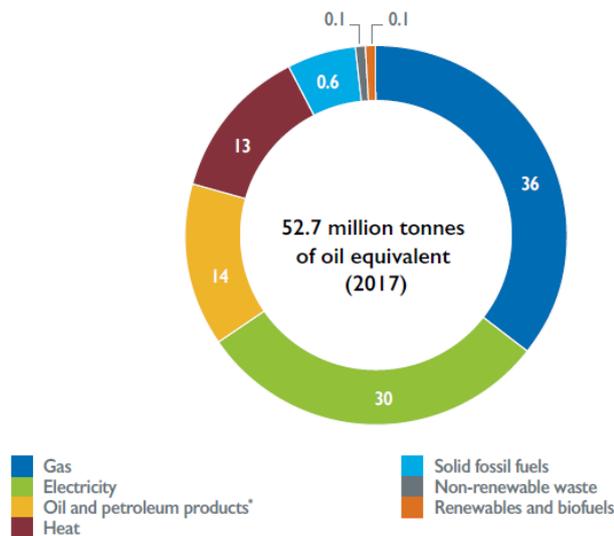


Figure 6: Répartition de la consommation d'énergie par source de la chimie européenne en 2017 (en %)

Source : (cefic, 2021) [2]

3 La base de données européenne REACH, qui répertorie les molécules dont les ventes dépassent 1 tonne par an, rassemblent de l'ordre de 30 000 produits différents référencés (<https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-reach>).

4 Certains engrais à 400 €, des principes actifs pharmaceutiques à 400 €, mais également des acryliques pour faire des peintures à 1 €/kg, par exemple (prix illustratifs).

Contrairement à la Chine et à l'Inde, le charbon est marginal dans l'approvisionnement de la filière chimie en Europe (mis à part indirectement dans la production d'électricité de certains pays comme l'Allemagne ou la Pologne). Le gaz et le pétrole, qui sont donc des intrants centraux de la filière, sont importés [7]. L'électricité joue quant à elle un rôle tout aussi clé puisqu'elle couvre actuellement 30 % des besoins du secteur (Figure 6)⁵.

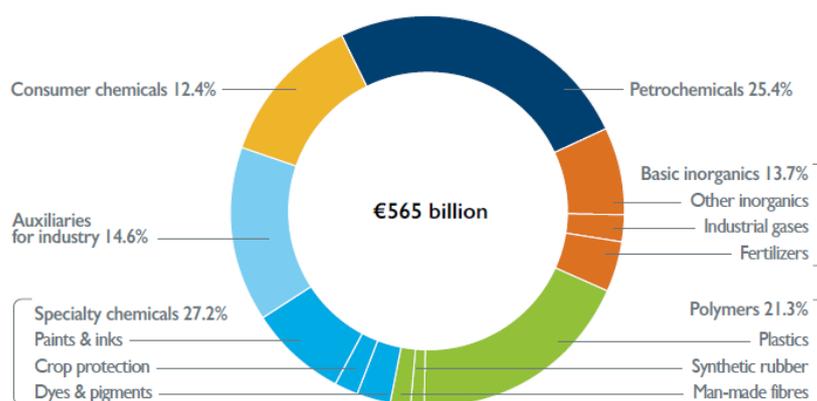


Figure 7 : Répartition des productions de la filière chimie européenne en valeur 2018

Source : (cefic, 2021) [2]

Les productions finales dont les dynamiques sont les plus dimensionnantes pour la filière sont les engrais et les plastiques :

- **Engrais azotés** : 10 Mt/an produites en Europe en 2017 [5], sous forme d'urée ou de sels d'ammonium ;
- **Plastiques** : 51,2 Mt de demande en Europe en 2018, ensuite utilisées dans [8] :
 - Les emballages et objets de grande consommation: 40 % ;
 - La construction : 20 % ;
 - L'automobile : 20 %.

C. Le régime EU-ETS

Les principaux sites de production de l'industrie chimique sont soumis au régime EU-ETS avec des quotas d'émissions gratuits, remis à jour en 2021.

⁵ Ce rôle pourrait être amené à croître si certaines technologies comme l'électrolyse pour la production d'hydrogène se développent.

Contrairement à certaines industries comme le ciment qui ont profité de volumes considérables d'allocations de quotas gratuits convertis en profits inattendus, la chimie européenne semble ne pas avoir bénéficié de quotas excessifs [9]. Sur la période 2008-2019, les quotas en excès de la pétrochimie ont été proches de ceux en déficit de la production d'engrais (les producteurs ont été forcés d'en acheter). La production ayant continué d'augmenter, cela confirme le fait que l'industrie chimique ait continué à améliorer ses émissions par unité de production à la vitesse de l'érosion de ses quotas (- 21% entre 2005 et 2020, soit - 1,5 %/an).

D. Un impact environnemental bien au-delà des GES

Les problèmes environnementaux soulevés par la chimie ne se limitent pas aux GES. Sans même considérer les pollutions des sols occasionnées par les accidents et négligences (la pollution des lits de rivière par le pyralène, par exemple), la chimie émet quantité de substances potentiellement nocives à prendre en compte :

- Les CFC et les HCFC ont été responsables de la dégradation de la couche d'ozone. Suite au protocole de Montréal en 1982, ils ont été interdits, la fin de leur usage ayant permis d'endiguer leurs effets délétères.
- Le soufre, les oxydes d'azote et les particules fines (PM_{2,5}) sont des polluants majeurs de l'air, à la source d'acidification de l'air et de pluies acides. Le durcissement des normes d'émissions en Europe (déclinaisons par pays du protocole de Göteborg de 1979) a permis de réduire ces émissions de 90 % entre 1990 et 2017 dans l'Union Européenne.
- Les prélèvements et la consommation d'eau de l'industrie chimique sont significatives.
- Les nitrates issus des engrais causent des pollutions de nappes phréatiques et de cours d'eau (eutrophisation).
- L'accumulation des déchets plastiques dans les océans est devenue un enjeu sanitaire et de biodiversité majeur, à l'échelle mondiale.

02

**NOTRE POINT
DE DÉPART
POUR LA CHIMIE
FRANÇAISE**

I. Une filière d'excellence exportatrice

Le périmètre traité dans le cadre de nos travaux s'appuie sur la catégorisation Insee, et correspond à son secteur 20 « Chimie ». Il comprend la chimie de base et de spécialités et recouvre 3 000 entreprises et 135 000 employés [3], [10].

La France représente 13 % de la chimie européenne (derrière l'Allemagne à 31 %) selon le Cefic (syndicat européen de la chimie) soit **environ 75 milliards d'euros de chiffres d'affaires** [2].

Le commerce extérieur démontre clairement le positionnement de spécialité de la chimie française et son extrême imbrication dans une chaîne de valeur globale [11]⁶ :

- **41,8 G€ d'exportations**, dont 23,8 G€ pour la chimie de base et 18 G€ pour la chimie de spécialités ;
- **39,5 G€ d'importations**, dont 25 G€ pour la chimie de base et 14 G€ pour la chimie de spécialités⁷ ;
- **Un solde commercial de + 2,3 G€, dont - 1,4 G€ pour la chimie de base et + 3,6 G€ pour la chimie de spécialité.**

II. Des progrès notables dans les émissions de la filière depuis 30 ans

Malgré sa croissance en volume, le secteur de la chimie en France a vu ses GES baisser de 51 MtCO₂e en 1990 à 21 MtCO₂e en 2019, soit une baisse de 60 % malgré une croissance continue de la production (Figure 8).

6 NAF20, 2019

7 A titre d'exemple, la France importe plus de 50 % de ses besoins en ammoniac/engrais et près de 98 % du méthanol (plus de 400 kt/an) [11]. Faute de gaz naturel bon marché, la France n'est pas économiquement compétitive face à des fournisseurs comme Trinidad et Tobago.

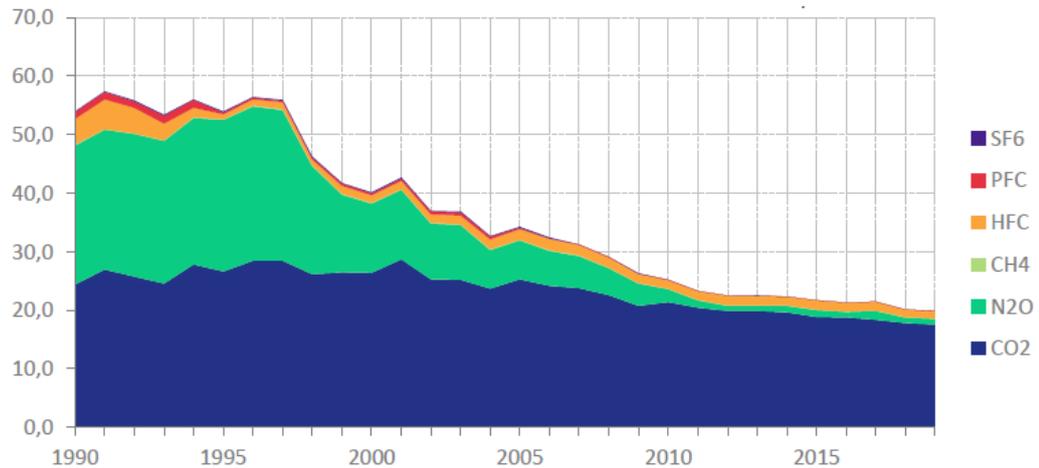


Figure 8: Evolution des émissions GES de l'industrie de la chimie en France, 1990-2019 (en MtCO₂e/an)
Source : (CNI, 2021) [12]

Cette réduction d'émissions s'explique par plusieurs facteurs :

- La baisse du protoxyde d'azote (N₂O) a été spectaculaire depuis la fin des années 1990. Le déploiement de nouvelles technologies de production a permis de passer de 12 MtCO₂e en 2000 à 1 MtCO₂e en 2019 dans la production d'acide nitrique [13].
- Le chlore, très consommateur d'électricité, est peu carboné en France de par la part importante du nucléaire dans le mix électrique ;
- Il est probable que l'évolution de la part de la chimie de commodités (HVC, ammoniac, méthanol) par rapport à la chimie de spécialités dans la production française explique une partie de cette baisse des émissions ;
- Il est certain que l'industrie européenne, soucieuse de réduire les coûts associés à ses consommations énergétiques (pétrole, gaz et électricité), a fait en 30 ans des progrès d'efficacité énergétique notables, à un rythme moyen de 3 %/an (Figure 9).

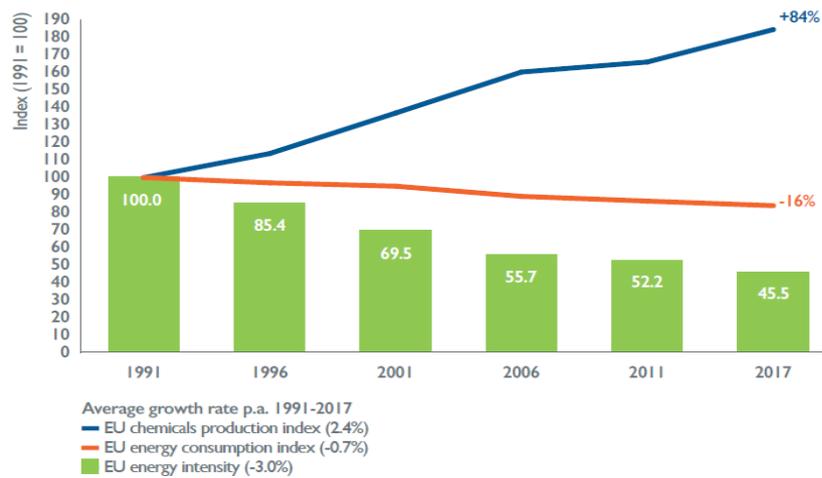
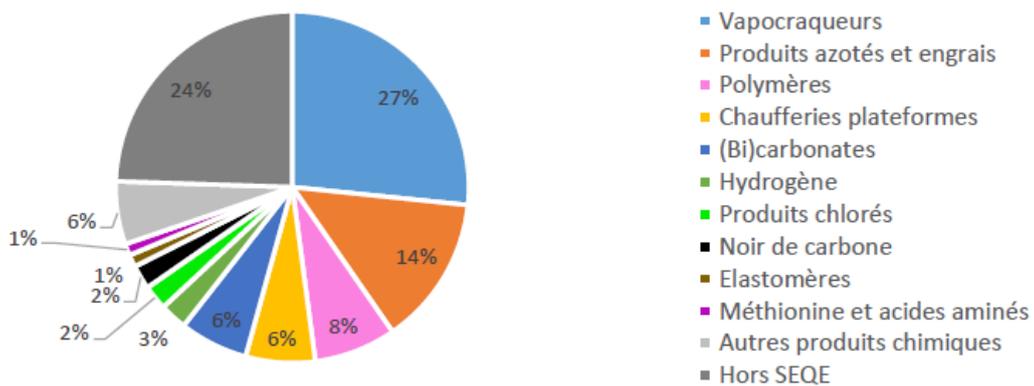


Figure 9 : Intensité énergétique de la chimie dans l'Union Européenne
Source : (cefic, 2021) [2]

L'industrie chimique française est soumise au système des **ETS de l'UE et au passage en phase IV** à partir de 2021 [12] :

- 132 sites chimiques en France sont soumis aux EU-ETS et génèrent 75% des émissions de la filière ;
- Les 12 plus gros sites de la chimie de base (6 vapocraqueurs, 4 sites ammoniac, 2 d'hydrogène) représentent 50% des émissions du secteur.



Source : EUTL².

Figure 10 : Répartition des émissions de la filière chimie en France en 2018, selon les sites
Source : (CNI, 2021) [12]

Bien que le coût du carbone ait moins d'impact sur des prix de produits dont la valeur de la tonne est importante⁸, la question des fuites carbone aux frontières de l'UE reste un sujet important pour la filière.

⁸ Par exemple, le coût du carbone en juin 2020 s'élevait à 20 € ; le rapport pour des productions comme l'éthylène d'une valeur de l'ordre de 1000 € est donc d'un ordre de grandeur différent de celui pour des produits comme le ciment, de l'ordre de 100 €.

03

**DÉCARBONER LA
FILIÈRE CHIMIE**

I. Estimation du potentiel de décarbonation des leviers technologiques

La forte intensité de la chimie en R&D permet la mobilisation de nombreux leviers de décarbonation potentiels.

Le progrès incrémental, comme l'efficacité énergétique, est cependant déjà proche de l'asymptote dans des usines anciennes⁹. Le porter au-delà de 0,5 %/an sera donc complexe, et nécessitera des investissements significatifs :

- L'usage de sources d'énergie alternatives comme la biomasse ou les CSR (combustibles solides de récupération) ;
- Le doublonnage du captage et de la destruction du N₂O dans la production des acides adipiques et nitriques ;
- La production de fluides frigorigènes à moindre potentiel de réchauffement global (PRG), pour remplacer les HFC dont une baisse de près de 79 % est attendue entre 2015 et 2030.

La décarbonation de la chimie est un sujet largement documenté, au sein d'études comme celles de l'AIE 2018 [4], de Dechema en 2017 pour l'Allemagne [14] ou encore l'étude néerlandaise Ecofys de 2018 [15].

Pour l'industrie chimique française, la feuille de route publiée en mai 2021 par France Chimie et le Conseil National de l'Industrie (CNI) constituera la base de nos premières projections : sur la base des leviers identifiés, nous avons dans un premier temps prolongé jusqu'à 2050 les tendances obtenues par leur déploiement (Tableau 2).

⁹ Ce constat est corroboré par l'analyse des données CITEPA [1] et les auditions d'acteurs menées dans le cadre de la rédaction de ce rapport.

Evolution des émissions à 2030 selon (CNI, 2021) et extrapolation à 2050	Emissions 2015 (en MtCO ₂ e)	2030 - Feuille de route CNI		2050 - Extrapolation	
		Evolution par rapport à 2015	Rythme 2015-2030 (en %/an)	Evolution par rapport à 2015	Rythme 2030-2050 (en %/an)
Leviers matures		-27%	-2%	-33%	-0,5%
<i>Efficacité énergétique</i>		-10%	-0,7%		
<i>Chaleur biomasse</i>		-7%	-0,5%		
<i>Chaleur CSR</i>		-4%	-0,3%		
<i>Autres GES</i>		-61%	-6%		
Leviers de rupture		-7%	-0,5%	-10%	-0,7%
Total	21,5	-34%	-3%	-43%	-0,8%

Tableau 2 : Feuille de route de décarbonation de la chimie en France : trajectoire de la feuille de route du CNI et extrapolation par The Shift Project

Source : calculs de The Shift Project et (CNI, 2021) [12]

France Chimie intègre dans ses projections certains leviers aujourd’hui non encore matures, comme l’hydrogène vert pour le raffinage du pétrole, le CCS ou l’électrification de certains procédés.

Dans la projection de cette feuille de route, les volumes de production de la chimie sont considérés comme plafonnés à leur niveau de 2020. Au vu des tendances historiques (+ 0,8 %/an entre 2010 et 2017 en France, comme détaillé plus tôt dans ce rapport), il s’agit d’une rupture forte dans la dynamique du secteur. Cela implique de plus que les acteurs soient en mesure d’assurer les investissements lourds nécessaires au déploiement des leviers, malgré des volumes de production qui restent stables.

Détails des effets des leviers de rupture à 2050	Evolution par rapport à 2015
H₂ par électrolyse	-5%
CCS	-3%
Electrification	-2%
Total	-10%

Tableau 3 : Détails des leviers technologiques de rupture

Source : calculs de The Shift Project et (CNI, 2021) [12]

Bien que nécessaires, ces progrès s'avèrent insuffisants : avec une réduction des émissions de la filière de près de 30 % à 2030 (par rapport à 2015) et de 50 % à 2050, les niveaux que permet d'atteindre la feuille de route restent loin de l'objectif de - 80% ou même de neutralité fixé par la SNBC pour le secteur de l'industrie.

II. Quels leviers pour décarboner plus vite et se mettre sur la bonne trajectoire ?

Trois leviers principaux permettront de placer la filière sur une trajectoire de décarbonation compatible avec l'objectif de - 80 % à 2050 :

- Un effort de sobriété sur les produits clés,
- Des changements de rupture dans les procédés,
- L'opportunité de la réforme des EU-ETS.

A. Un effort de sobriété sur les produits clés

Pour déterminer les efforts de sobriété nécessaires pour chaque application qui consomme des produits chimiques, il est utile, au préalable, de décrire la répartition des principaux postes d'usage aval :

- Les produits à destination directe des ménages (emballages, objets de grande consommation en plastique, etc.),
- L'agriculture (engrais, pesticides),
- La construction (plastiques, colles, peintures, additifs etc.),
- L'industrie automobile (plastiques notamment).
- La catégorie d'usages « Autres », rassemblant les flux dont la destination n'est pas ici détaillée.

Ces principaux postes devront donc être mobilisés pour réinventer des usages alimentés par des flux de produits chimiques (plastiques, engrais, pesticides notamment) moins importants.

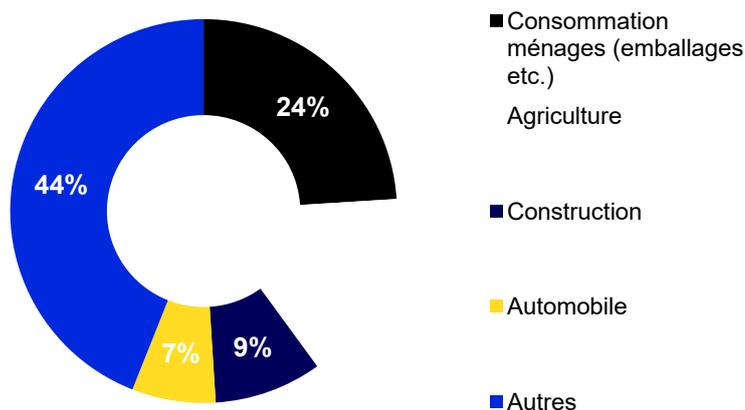


Figure 11 : Répartition des émissions de GES de la chimie en France par usage aval
 Source : calculs de The Shift Project, sur la base de (CNI, 2021) [12]

1. Réduire la production de matières plastiques vierges

La consommation de plastique continue à augmenter en France comme dans le monde, à un rythme de 0,5 % / an depuis 2010 en volume dans l'Hexagone [3]. Placer la filière chimie sur une trajectoire viable peut s'appuyer sur deux leviers de réduction de la consommation de résines vierges :

- La réglementation des usages du plastique,
- Le développement du recyclage.

La directive européenne de 2019 visant à interdire les objets en plastique à usage unique dès juillet 2021 est un premier outil, mais s'applique à un périmètre relativement réduit puisqu'elle concerne uniquement certains articles (couverts, bouchons, pailles, assiettes etc.), excluant par exemple les emballages alimentaire n'étant pas en polystyrène expansé. Elle ne suffit donc pas à produire une diminution généralisée des volumes de plastiques à l'échelle de ce qu'il est nécessaire de mettre en place. **Le périmètre doit être élargi, notamment afin d'inclure tous les emballages alimentaires.**

La traduction par le gouvernement français dans sa **directive 3R promet quant à elle d'éliminer tous les plastiques à usage unique d'ici 2030**, ce qui constituera la base de nos hypothèses de modélisation [16].

Emissions de production des plastiques (en tCO2/t)	Résine vierge	Recyclé	Gain par recyclage	Gain par recyclage, par étape	
				HVC	Polymérisation
Plastique (moyenne)	2350	202	2148	1000	1148
PET	3410	348	3062	1000	2062
PE LD	2064	202	1862	1000	862
PE HD	1900	202	1698	1000	698
PVC moulé	2115	400	1715	1000	715
PVC film	2618	400	2218	1000	1218

Tableau 4 : Emission de GES associées à la production et au recyclage des plastiques, par type de plastique

Source : calculs de The Shift Project à partir de (ADEME, 2020) [17]

Augmenter le recyclage du plastique permet de réduire les besoins en HVC (notamment en éthane). A ce jour, la France reste cependant bien en-deçà des moyennes européennes : elle est avant-dernière de la classe en Europe avec un taux de recyclage de 25 % en prenant en compte les exportations. En réalité, si l'on n'intègre pas ces exportations, le taux de recyclage n'est que de 20 % en 2018 contre près de 45% pour l'Allemagne ou la Suède.

Rendre la filière compatible avec les contraintes de décarbonation ne peut s'affranchir d'objectifs généraux forts sur les taux de recyclage des plastiques. Les transformations du PTEF impliquent donc d'atteindre les objectifs fixés par l'UE pour 2025 (50 % de recyclage des emballages collectés [18], [19]), en les généralisant et en les prolongeant.

Au global, pour atteindre l'objectif, il faut combiner à la fois baisse de la consommation de plastique (en particulier l'emballage) et augmenter le recyclage.

Hypothèse de nos projections – Réduction des plastiques

Nous traduisons la baisse de 100% des emballages à usage unique dits « inutiles » dans le décret 3R par une baisse de 70% à 2050, étant données les définitions du périmètre (exclusion par exemple de certains emballages alimentaires) et l'incertitude sur les décrets d'application à venir.

Les autres évolutions (hors emballage) sont issues du PTEF avec des baisses en construction et en automobile et un maintien des quantités de plastiques dans tous les autres secteurs (santé, objets durables etc...).

Hypothèse de nos projections – taux de recyclage

Dans nos projections, les objectifs de recyclage sont généralisés et prolongés à partir des ambitions européennes :

- 55 % de recyclage des déchets plastiques collectés en 2030,
- 90 % de recyclage des déchets plastiques collectés en 2050.

Chiffres clés

Dans son scénario volontariste (CTS 2018), l'AIE prévoit un passage de la collecte mondiale de plastique de 15 % en 2017 à 40 % en 2050 avec un taux de recyclage passant de 75 % à 85 % [4]. Cela permettrait d'éviter la production de 70 Mt de HVC dans le monde grâce à la production de plastique secondaire basé sur le recyclage.

Pour rendre possible cette trajectoire, il est nécessaire d'amorcer dès aujourd'hui :

- **Une structuration de la filière du recyclage** (qui devrait être tirée par les engagements d'emballages recyclés de gros producteurs des industries de consommation comme l'agroalimentaire et les cosmétiques),
- **Une adaptation des normes sur les plastiques pour augmenter les taux d'incorporation de matière recyclée.**

Réduire les consommations de plastiques engendre des effets bénéfiques en-dehors de la réduction de l’empreinte carbone, bien que les indicateurs associés ne fassent pas partie du périmètre de cette étude : pollution des écosystèmes, impacts sur la biodiversité, conséquences sanitaires etc.

2. La consommation d’engrais

Optimiser la consommation d’engrais azotés en France permet d’agir sur le second grand poste de consommation de la chimie. Le secteur agricole du PTEF affiche à ce stade une ambition de réduction de 80 % des apports d’engrais azotés à 2050, en développant de manière très intense l’utilisation circulaire des nutriments.

Volumes d’azote produits et consommés en 2018 (en Mt)	Mt	Commentaires
Consommation pour engrais en France	2,2	79 kg/ha en moyenne (contre 67 kg/ha en moyenne en EU)
Production en France	0,8	4 sites de production sur le territoire
Importations	1,5	Soit 70 % d’importation
<i>dont EU</i>	0,5	Allemagne, Belgique
<i>dont hors EU</i>	1,0	Russie, USA, Algérie, Egypte...

Tableau 5 : Origine des engrais azotés en France

Source : (unifa, 2019) [5]

La consommation actuelle d’engrais azotés en France s’élève à 2,2 Mt. Après la réduction imposée par les changements de pratiques agricoles, **elle atteint un peu moins de 0,5 Mt par an**. En plus de permettre de placer l’agriculture sur la bonne trajectoire de décarbonation, cette transformation permet donc en plus de **rendre la France auto-suffisante en engrais**, sa consommation en 2050 devenant inférieure à sa production actuelle.

En indexant la production d’engrais sur la nouvelle demande nationale, l’industrie chimique voit ainsi ses **volumes de production de nutriments azotés réduire de presque 50 %** dans le cadre du PTEF. Si cet effet de volume entraîne une réduction des émissions associées, **il est évident qu’il soulève des questions de politique industrielle et de gestion des emplois associés**.

Une stratégie alternative de réindustrialisation pourrait être choisie pour les engrais, avec le développement d'une filière hydrogène. Cette possibilité est détaillée plus loin dans ce rapport.

B. Des changements de rupture dans les procédés

1. HVC

Pour la production des HVC, il est possible de développer l'électrification du vapocraquage¹⁰, impliquant ici aussi une charge supplémentaire importante sur la demande électrique¹¹.

Il faut également noter les nombreux projets de recyclage chimique du plastique. Le recyclage chimique est une technologie complémentaire qui peut aider à éviter la mise en décharge de certains déchets plastiques qui ne peuvent être durablement recyclés par des processus mécaniques. Les flux de déchets plastiques susceptibles de convenir à un recyclage chimique sont par exemple les plastiques multi-couches et composites, les flux de plastiques en mélange de faible qualité et les plastiques contaminés.

2. Ammoniac

a. Faire de l'ammoniac une priorité pour l'hydrogène décarboné

Pour la production d'ammoniac, utiliser de l'hydrogène décarboné, c'est-à-dire issu de l'électrolyse de l'eau avec une électricité faiblement carbonée, permet de décarboner fortement l'activité de la filière.

L'ammoniac est, avec la réduction directe en sidérurgie, l'usage le plus efficient de l'hydrogène vert. La décarbonation de l'ammoniac dépend donc directement de la disponibilité de capacités supplémentaires en électricité.

A noter qu'il existe une voie de rupture pour l'ammoniac qui consisterait en une hydrolyse à basse température et basse pression. La question de la disponibilité en électricité décarbonée deviendrait dans ce cas cependant encore plus aiguë.

10 Déjà aujourd'hui envisagée par un acteur en France.

11 Les problématiques liées à l'augmentation des coûts de production sont ici aussi présentes au moment de l'amorce de la transformation, la production par vapocraquage électrifié impliquant en effet aujourd'hui des coûts deux fois plus élevés que le procédé classique comme pointé par l'étude Dechema [14].

Pour que ces technologies se déploient dans le monde industriel, il faudra créer les conditions économiques pour placer le procédé de vaporéformage à base de gaz naturel en position défavorable forte face à la voie par électrolyse. Catastrophique en termes d'émissions carbonées (entre 9 et 11 kgCO₂/kgH₂), le vaporéformage est en effet extraordinairement bas en coût¹².

La décarbonation de la production d'hydrogène – donc d'ammoniac – dépendra donc du prix du gaz, de l'électricité décarbonée et du prix du carbone.

Levier de transformation du PTEF – De l'hydrogène pour l'ammoniac

Le PTEF préconise de faire de la production d'ammoniac l'une des deux priorités (avec la production d'acier) de la mobilisation des capacités de production d'hydrogène par électrolyse.

Il porte la part de recours à l'hydrogène décarboné à :

- **20 % des besoins d'engrais en 2030,**
- **100 % en 2050.**

Dans la projection de base du PTEF, on aligne la production d'engrais sur les besoins en engrais dimensionnés par les travaux réalisés sur le secteur agricole, à savoir une réduction de 80 % des intrants en nutriments. Cette projection est à mettre en regard des alternatives développées dans la suite de ce rapport.

¹² De l'ordre de 100 €, voire inférieur dans les régions du Moyen-Orient grâce à la proximité des gisements de gaz

Du point de vue de la réduction des émissions de la filière ammoniac, cette solution est en concurrence avec le CCS. La production d'ammoniac est l'une des activités industrielles se prêtant en effet le mieux au déploiement de la capture du carbone, compte tenu du faible nombre de sites sur le territoire (un total de quatre) et de la grande concentration de leurs fumées en CO₂ qui le rend fortement captable (près de 100 % du carbone émis) [20]¹³. **Il est possible, au vu des lancements d'initiatives en cours aujourd'hui sur le territoire, que la solution CCS démarre plus rapidement que la mise à disposition de l'hydrogène décarboné pour la filière ammoniac.**

Le choix de long terme, à horizon 2050, sera un arbitrage entre le déploiement du CCS et l'investissement dans une filière hydrogène. Il dépendra notamment de :

- **L'évolution du prix du gaz ;**
- **La disponibilité et le prix de l'électricité ;**
- **Les modalités de mise en place de mécanismes comme le CBAM.**

L'hydrogène, une ressource sous contrainte

Si la France est a priori bien située pour en produire, la question de la priorisation des usages de l'hydrogène décarboné reste incontournable. Prioriser son utilisation pour la production d'engrais azoté et la réduction directe du fer en sidérurgie doit faire l'objet d'une planification et d'outils de pilotage concrets pour permettre d'orienter les acteurs.

b. Une stratégie industrielle alternative : réindustrialiser pour héberger la filière européenne des engrais décarbonés

En plus des incertitudes à ce stade sur la trajectoire que l'agriculture suivra dans la transformation¹⁴, s'affranchir des intrants azotés pourrait prendre du temps, or les impératifs de la chimie poussent à devoir décarboner les engrais dès que possible.

¹³ En termes de coût, l'ADEME estime le coût total jusqu'au stockage de 40 à 60 €/CO₂ captées, soit 60 à 90€ d'ammoniac.

¹⁴ Les résultats des travaux sur le secteur agricole dans le cadre du PTEF sont intermédiaires à ce stade.

Si la France prenait de l'avance dans la production d'hydrogène par électrolyse (indispensable pour fabriquer de l'ammoniac décarboné sans gaz naturel) et la technologie CCS, elle pourrait mener une stratégie industrielle en deux temps :

- Relocaliser dans un premier temps sa production d'engrais, à hauteur donc d'environ 2 Mt annuelles, tout en la décarbonant grâce à un mix entre l'hydrogène et la CCS ;
- Devenir une puissance exportatrice d'engrais décarbonés majeure en Europe si la demande nationale en apports azotés baisse bien de 80 %, ou bien assurer son autosuffisance dans le cas où ses besoins ne se réduisent pas aussi vite que prévu.

Volumes d'azote produits et consommés entre 2018 et 2050 (en Mt)	2018	2030	2050	Evolution 2018-2050
Consommation pour engrais en France	2,2	2,1	0,5	-80%
Production en France	0,8	1,0	2,0	162%
Importations	1,5	1,1	0	-100%
Exportations	0	0	1,6	

Tableau 6 : Evolution de la production d'engrais azotés en France dans le cas d'une stratégie de réindustrialisation volontaire

Source : calculs de The Shift Project

Cette stratégie de réindustrialisation volontaire participerait à la création d'emplois sur le territoire, en positionnant l'industrie française sur une production qui pourrait ensuite alimenter les transformations des pays voisins.

Elle constituerait **une trajectoire située au croisement des impératifs agricole** (s'affranchir des engrais de synthèse) **et industriel** (rendre possible la production d'engrais décarbonés) : la décarbonation des engrais étant nécessaire pour répondre aux besoins résiduels de l'agriculture transformée en 2050 (20 % de la demande actuelle), l'industrie choisirait de développer cette nouvelle **filière à une échelle suffisante pour permettre les investissements nécessaires au développement des infrastructures hydrogène et CCS.**

Production d'hydrogène par électrolyse (en place du vapocraquage) pour les engrais	Besoins en H ₂ (en Mt)	Gain net en GES (en MtCO ₂ e)	Besoins en élec. (en TWh)
Pour 1 Mt d'ammoniac produite en France	0,2	1,5	10

Tableau 7 : Evaluation de la quantité d'électricité associée à la production d'hydrogène par électrolyse pour produire l'ammoniac français
Source : calculs de The Shift Project

Convertir l'approvisionnement en hydrogène des quatre sites de production d'ammoniac du territoire, depuis la voie par vapocraquage vers l'électrolyse décarbonée, réclamerait (afin d'assurer la production actuelle de l'ordre de 1 Mt de produits par an [21]) de l'ordre de 10 TWh d'électricité supplémentaire.

Avec une politique de réindustrialisation qui viserait à atteindre un volume de 2 Mt produites par an, **cette demande ajoutée au système électrique atteindrait près de 20 TWh annuels** et serait non intermittente et sans possibilité d'effacement¹⁵.

Le système électrique se trouvant fortement sous tension au cours et à l'issue de la transformation de l'économie, cette stratégie ne deviendrait possible que si des arbitrages forts sont formulés avec les autres secteurs : mobilité des personnes, transports de marchandises, chauffage des logements... sont autant d'usages dont la décarbonation s'appuie presque intégralement sur une sollicitation accrue du réseau électrique. **Les résultats du rebouclage énergétique mené dans le cadre du PTEF amènent ainsi l'industrie chimique, dans le cadre de la transformation de l'économie, à indexer sa production sur la réduction de la demande en engrais, sauf arbitrage macroscopique différent entre les secteurs.**

Le développement du CCS dans l'industrie chimique pourrait infléchir cette conclusion : il peut en effet permettre de décarboner la production d'engrais tout en limitant la consommation électrique supplémentaire nécessaire, et ainsi rendre possible cette stratégie de réindustrialisation. Dans ce cas, une dépendance au gaz naturel serait toutefois maintenue.

¹⁵ Ceci étant notamment une condition nécessaire à rendre économiquement viable la production d'hydrogène par électrolyse face au vapocraquage.

Formuler des arbitrages – la disponibilité d'un secteur est la sobriété d'un autre

Mettre à disposition de l'électricité décarbonée pour permettre à l'industrie chimique de réindustrialiser la production d'engrais sur le territoire peut comporter ses avantages (en termes d'emploi, de développement industriel, de mise à disposition d'intrants décarbonés pour le reste de l'Europe, etc.).

Cela ne peut cependant être **physiquement viable que si la sobriété est menée plus loin dans l'un des autres secteurs consommateurs d'électricité** (notamment mobilité, fret ou logement).

Bien que cette possibilité ne soit pas documentée dans ce rapport, **c'est bien là l'intérêt essentiel de l'exercice que constitue le PTEF : identifier les arbitrages à mener.**

Dans l'économie en transformation, les acteurs de l'industrie chimique, s'ils décident de lancer cette stratégie de réindustrialisation, devront pour ce faire **entamer des discussions avec les acteurs publics et ceux des secteurs concernés** afin de pouvoir **capter à leur profit davantage de capacités électriques.**

C. L'utilisation du CCS

L'hypothèse prise dans la feuille de route du secteur [20], qui vise une capture de 0,4 MtCO₂/an en 2030 majoritairement dirigée vers l'hydrogène destiné au raffinage, reste prudente.

Bien que le CCS puisse potentiellement démarrer rapidement pour le raffinage et les engrais produits dans la Vallée de Seine, la décarbonation des engrais s'appuie avant tout dans le PTEF sur le recours à l'hydrogène par électrolyse.

Volumes annuels de carbone captables et stockables en France (en MtCO ₂)	Volume émis	Volume captable	Volume stockable
Sidérurgie	23	17	11,5
Chimie (hors production d'ammoniac)	11	6	2
Chimie de la production d'ammoniac	2	2	1

Hypothèse de nos projections – Le recours au CCS

Compte tenu des baisses de HVC liées à notre hypothèse de réduction de la production de plastique qui limite le potentiel captable, et la priorité donnée à l'hydrogène plutôt qu'au CCS pour décarboner les engrais, nos modélisations intègrent une mobilisation du CCS à 50 % du potentiel de captage hors engrais identifié par l'ADEME.

A horizon 2050, cela représente près de 1 MtCO₂ captées supplémentaires, pour un total de 1,4 MtCO₂ au total sur l'industrie chimique.

*Tableau 8 : Potentiel de capture et stockage du carbone pour l'industrie chimique française
Source : (ADEME, 2020) [20]*

D. L'opportunité de la réforme des EU-ETS

La Commission européenne a annoncé le 14 juillet 2021 son projet de CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) concernant l'électricité, les engrais, le ciment, l'acier et l'aluminium. L'intégralité de ces secteurs est soumise au système des ETS et donc aux risques de fuites de carbone (c'est-à-dire l'importation de produits non soumis à ces ETS et donc avantagés, malgré la mise à disposition pour les acteurs européens de quotas gratuits).

Son principe en serait le suivant :

- Dès 2023, les importateurs déclareraient le contenu carbone des engrais importés, pour commencer à être soumis au paiement de droits d'émissions à partir de 2026 (en prenant en compte les droits de l'UE comparés à ceux éventuellement déjà payés dans le pays producteur) ;
- A partir de 2026, les quotas carbone gratuits des usines européennes se réduiraient de 10 % par an, pour finalement disparaître totalement en 2036.

Dans le cas des engrais, ce mécanisme, s'il voit le jour, permettrait aux industriels de financer le coût des investissements nécessaires à la décarbonation de leur production – dont le déploiement du CCS sur les sites adaptés et de l'hydrogène vert – tout en écartant le risque de fuites aux frontières.

Cela pourrait avoir plusieurs effets différents :

- Il pourrait permettre à la France d'utiliser son avantage dans l'électricité bas carbone pour relocaliser la production d'ammoniac et d'engrais d'origine allemande, belge et Trinidad et Tobago, en priorisant les capacités du pays en hydrogène vert pour ces productions ;
- Il pourrait contribuer à accélérer le changement agricole en facilitant la mise en œuvre de leviers réglementaires conduisant à une baisse de la quantité d'engrais azotés et/ou l'usage d'engrais décarbonés (en fixant par exemple un seuil de contenu carbone par hectare ou en introduisant une comptabilité carbone des intrants – engrais ou pesticides – dont le suivi est déjà très précis et rigoureux).

La course mondiale à l'hydrogène vert, dans les bonnes applications

La production d'hydrogène vert et son affectation en priorité aux procédés industriels est une dynamique qui semble se dessiner à grande échelle dans des pays comme la Chine.

Par exemple, la Chine lance le titanesque projet en Mongolie intérieure d'une infrastructure permettant la production de 67 kt d'hydrogène, appuyée sur 1,85 GW d'énergie solaire et 370 MW d'énergie éolienne [22].

E. La décarbonation de la chimie dans le PTEF – vision globale

Les transformations préconisées par le PTEF permettent d'atteindre une décarbonation proche de l'objectif de - 80 %, notamment grâce à la mobilisation du progrès continu, la décarbonation de nos engrais, la réduction drastique de la production de résines vierges (par le recyclage et la limitation des usages du plastique).

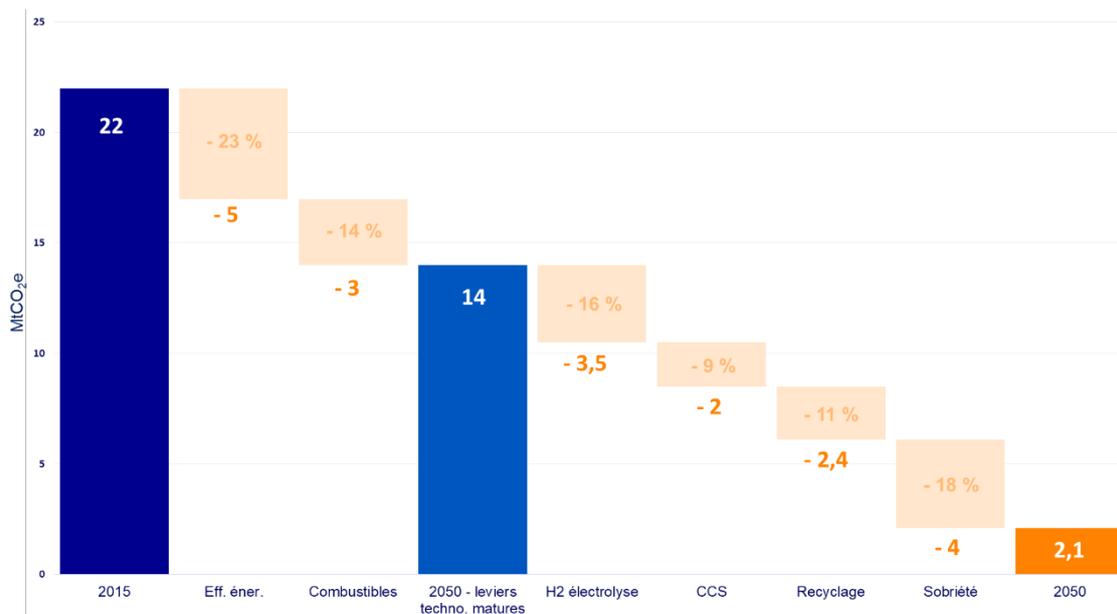


Figure 12 : Evolution des émissions GES du secteur de la chimie en France dans le PTEF entre 2015 et 2050 (en MtCO₂e)

Source : calculs de The Shift Project

En termes de consommation d'énergies fossiles, le recours à l'hydrogène vert dans la production d'ammoniac permet en plus de répondre au second impératif de la double contrainte carbone, en réduisant les intrants fossiles des procédés dont en particulier le gaz que nous importons de Norvège (43%), de Russie (21%), des Pays-Bas (11%), d'Algérie (8%) et du reste du monde (17 %) [23].

04

**LA FILIÈRE
INDUSTRIELLE
DE LA CHIMIE
EN FRANCE APRÈS
TRANSFORMATION**

La filière chimique française est une filière d'excellence totalement insérée dans les chaînes de valeur mondiales.

En termes d'emploi, la filière est restée stable ces dix dernières années, si l'on se réfère à son périmètre strict, et présente le visage suivant [10] :

- 3000 entreprises ;
- 135 000 emplois directs sur des centaines de sites¹⁶ ;
- Plus de la moitié de l'activité est tirée par les exportations.

Cartographie de la filière chimie en France en 2016	Entreprises	Emplois (en ETP)	CA (en M€)	Emploi/CA (en ETP/M€)
Chimie	3 042	135 394	66 600	2,0
<i>Chimie de base</i>	588	49 791	29 212	1,7
<i>Intermédiaire/de spécialité</i>	3 000	85 603	37 388	2,3
Secteurs avals				
<i>Plasturgie</i>		133 757	33 644	4,0
<i>Engrais</i>		4 451	2 150	2,1

Tableau 9 : Emplois dans la filière chimie en France en 2016

Source : calculs de The Shift Project à partir (Insee, 2018) [10]

Les transformations préconisées par le PTEF pour la filière chimie sont en grande partie réalisables par l'activation de leviers technologiques qui modifient les mécanismes de production et engendrent certaines réductions des volumes finaux produits par la filière :

- Les volumes de plastiques finaux baissent d'un tiers par rapport à leur niveau actuel d'ici 2050, ce qui constitue une rupture de tendance par rapport à la dynamique actuelle ;
- Les volumes de production d'engrais sont stables puis augmentent avec la relocalisation de la production entre 2030 et 2050, soit pour les besoins nationaux soit pour l'export si la baisse des apports azotés en France se confirme ;

¹⁶ France Chimie comptabilise jusqu'à 250 000 emplois dans certaines de ses estimations, ce qui peut s'expliquer par une comptabilité en raisonnement filière avec l'aval direct, la plasturgie représentant par exemple à elle seule plus de 130 000 emplois [10].

- Les volumes de production de HVC diminuent, de par la réduction de la part de plastiques issus des résines vierges, mais les volumes issus du recyclage, dont l'intensité en emplois est sans doute supérieure, prennent le relais.

En termes d'emplois, ces transformations peuvent avoir différents effets concurrents :

- Les réductions de certains volumes de production engendrent des réductions du nombre d'emplois associés tant dans la production de résine vierge que dans la production de plastique brut.
- La question de la baisse de la plasturgie en aval (près de 130 000 emplois en 2016) est un point de vigilance certain. Elle n'est pas comptabilisée ici, n'entrant pas dans le périmètre accessible par notre modélisation à ce stade, mais mérite une étude particulière pour évaluer les effets de substitution des emballages plastiques par d'autres solutions, et donc les transferts d'emploi (en approche quantitative) possibles.
- Le report des volumes de résines vierges sur le recyclage des plastiques engendre une augmentation de l'activité de ces acteurs ;
- La relocalisation de la production d'engrais est une dynamique créatrice d'emplois ;
- Le recours important à l'hydrogène et à l'électricité bas carbone associée, produits localement, se substitue à l'utilisation de gaz naturel importé.

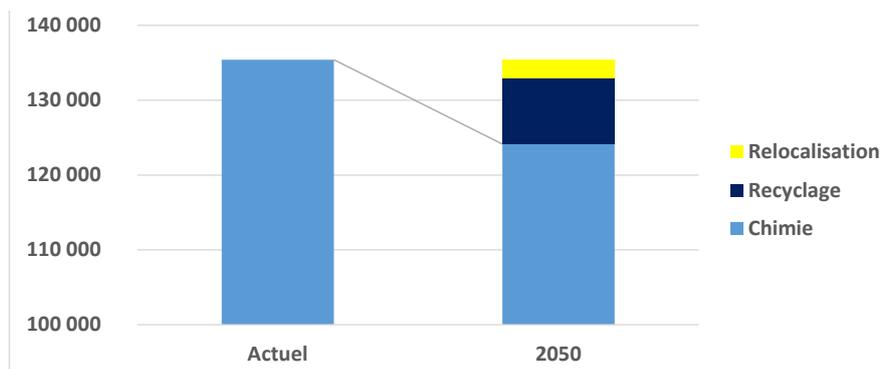


Figure 13 : Evolution de l'emploi dans la filière chimie en France dans le PTEF

Source : calculs de The Shift Project

ANNEXES

Annexe 1 : Données complémentaires

- marché de la chimie et évolution des plastiques

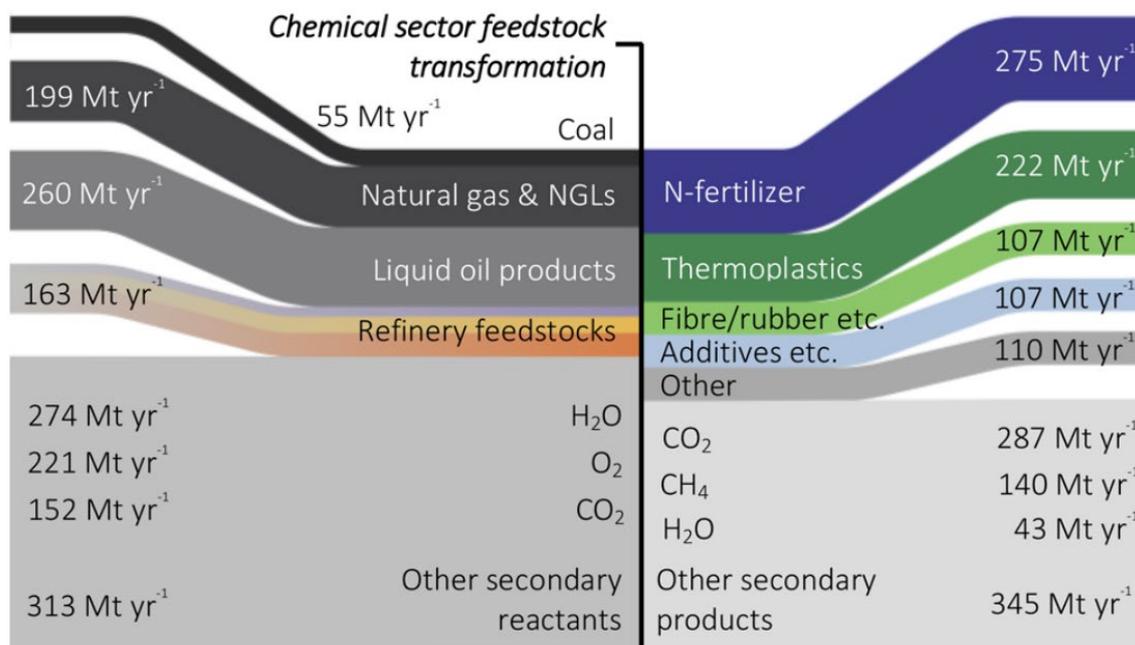


Figure 14 : Cartographie des flux de matières énergétiques et non-énergétiques de l'industrie chimique
 Source : (Levi et Cullen, 2018) [24]

Evolution de la consommation de plastiques en France, entre 2022 et 2050	Part en 2022	2030		2050	
		Evolution secteur	Evolution demande totale	Evolution secteur	Evolution demande totale
Emballage	40%	-25%	-10%	-70%	-28%
Construction	20%	0%	0%	-10%	-2%
Automobile	10%	-10%	-1%	-30%	-3%
Electronique	6%	0%	0%	0%	0%
Maison, loisirs	4%	0%	0%	0%	0%
Agriculture	3%	0%	0%	0%	0%
Autres	17%	0%	0%	0%	0%
Total	100%		-11%		-33%

Tableau 10 : hypothèse de baisse de la consommation de plastique en France

Source : hypothèses de The Shift Project

Exprimées en besoin de résine vierge et basées sur les travaux sectoriels du PTEF (logement, industrie automobile etc.)

Annexe 2 : La question des coûts – Rendre la production d’ammoniac, donc d’hydrogène, compétitive

Dans le contexte économique actuel, les conditions qui pourraient permettre le lancement de l’électrolyse à échelle industrielle sont les suivantes :

- La mise en place d’un mécanisme comme le CBAM ;
- Le passage du prix du gaz naturel au-delà de 15 \$/mBTU durablement, dans toutes les zones géographiques du monde¹⁷ ;
- Que ce haut prix du gaz rende les productions du Moyen-Orient non compétitives.

¹⁷ Ce qui est le cas entre septembre et décembre 2021.

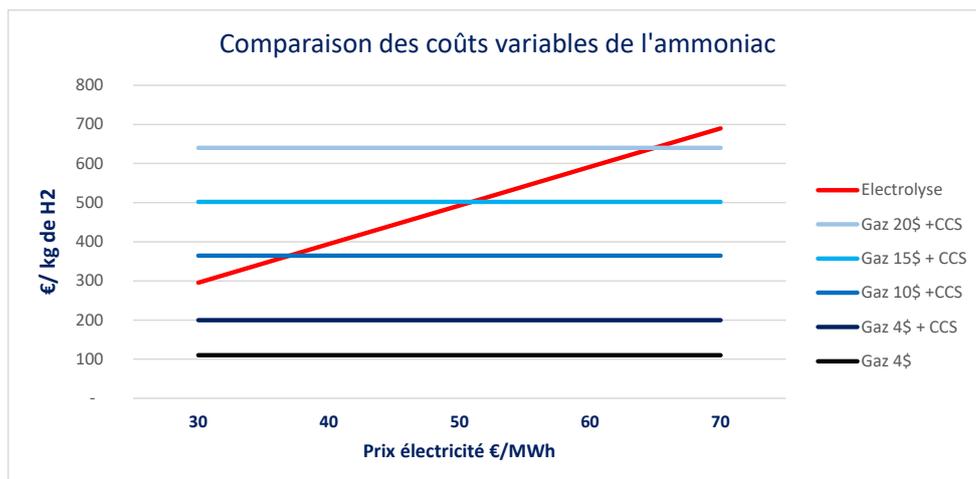


Figure 15 : Comparaison des coûts de production d'hydrogène
Source : calculs de The Shift Project

Il est possible que le CCS se développe en premier : si le gaz naturel vient de passer les 15 €/mBTU en septembre 2021, ce prix n'est pas établi de façon permanente et géographiquement homogène.

€/t de CO2	Offshore		Onshore	
	Min	Max	Min	Max
Capture	20	33	20	33
Liquéfaction	9	9	9	9
Transport	10	29	4	10
Stockage	9	20	5	5
Total €/t CO2	48	91	38	57
CO2/ H2	9	9	9	9
H2/NH3	0,18	0,18	0,18	0,18
CO2/ NH3	1,6	1,6	1,6	1,6
€/t de NH3	76	145	60	90

Tableau II : Coût du CCS pour la production d'ammoniac
Source : calculs de The Shift Project et (ADEME, 2021) [20]

European Union Natural Gas Import Price

22.84 USD/MMBtu for Sep 2021



Figure 16 : Evolution des prix du gaz naturel en Europe

Source : Ycharts

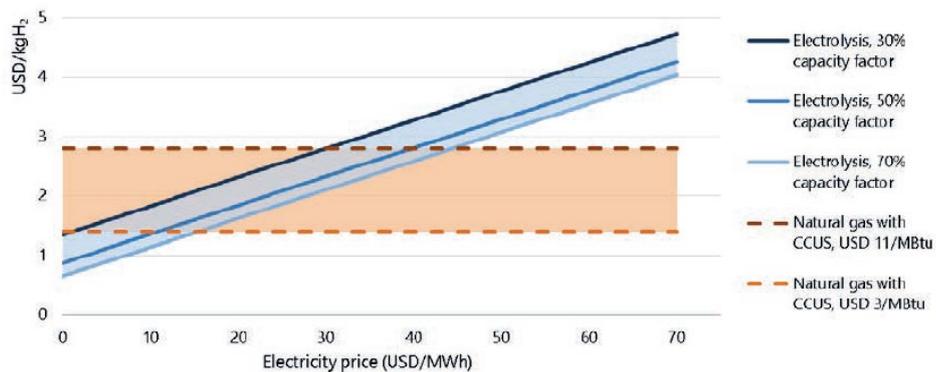


Figure 17 : Comparaison des coûts de production de l'hydrogène

Source : (IAE, 2019) [25]

Bibliographie

- [1] CITEPA, « Données d'émissions et rapports d'inventaire », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.citepa.org/fr/telechargements/>
- [2] cefic, « The European chemical industry - A vital part of Europe's future. Facts & figures 2021 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://cefic.org/a-pillar-of-the-european-economy/facts-and-figures-of-the-european-chemical-industry/>
- [3] Insee, « Caractéristiques comptables, financières et d'emploi des entreprises en 2016 », 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3596413?sommaire=3560277>
- [4] IEA, « The future of petrochemicals - Towards more sustainable plastics and fertilisers », Agence Internationale de l'Energie, 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-petrochemicals>
- [5] unifa, « Les livraisons d'engrais minéraux en France métropolitaine - Campagne 2017-2018 », 2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.unifa.fr/sites/default/files/2019-04/BROCHURE%20REGION%202017-2018.pdf>
- [6] France Chimie, « La chimie en France - Faits et chiffres clés 2019 », 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.francechimie.fr/media/9d9/depliant-chiffres-cles-chimie-edition-2020-2019.pdf>
- [7] The Shift Project, « Approvisionnement pétrolier futur de l'Union européenne : état des réserves et perspectives de production des principaux pays fournisseurs », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://theshiftproject.org/article/nouveau-rapport-approvisionnement-petrolier-europe/>
- [8] Plastics Europe, « Plastics - the facts 2019 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://plasticseurope.org/fr/wp-content/uploads/sites/2/2021/11/Plastics_the_facts_2019.pdf
- [9] CE Delft, « Additional profits of sectors and firms from the EU ETS. 2008-2019 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://cedelft.eu/publications/additional-profits-of-sectors-and-firms-from-the-eu-ets/>
- [10] Insee, « ESANE. Fiches sectorielles - 2016. », 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4497713>
- [11] Ministère de l'économie, des finances et de la relance, « Statistiques nationales du commerce extérieur », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/statistiques-nationales-du-commerce-exterieur/>
- [12] CNI, « Décarbonation de l'industrie - Feuille de route de la filière chimie », 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/plan-de-relance/DP-07052021-Feuille-route-decarbonation-chimie.pdf
- [13] CITEPA, « Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques - Bilan des émissions en France de 1990 à 2020. Rapport national d'inventaire / Format Secten », 2021.

- [En ligne]. Disponible sur: https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/Citepa_Rapport-Secten_ed2021_v1_30072021.pdf
- [14] Dechema et cefic, « Technology study - Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry », 2017. [En ligne]. Disponible sur: https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapierre/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry.pdf
- [15] Ecofys, « Gas for climate - How gas can help to achieve the Paris Egreement target in an affordable way », 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2020/03/Ecofys-Gas-for-Climate-Report-Study-March18.pdf>
- [16] Ministère de la transition écologique, « Loi anti-gaspillage: vers la fin des emballages en plastique à usage unique », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/emballages-en-plastique-usage-unique>
- [17] ADEME, « Bilan National du Recyclage 2008-2017 - Evolutions du recyclage en France de différents matériaux: métaux ferreux et non ferreux, papiers-cartons, verre, plastiques, inertes du BTP et bois », 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3860-bilan-national-du-recyclage-bnr-2008-2017-et-acv-des-flux-de-dechets-recycles.html#/44-type_de_produit-format_electronique
- [18] Plastics Europe, « Plastics - the facts 2020 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://plasticseurope.org/fr/wp-content/uploads/sites/2/2021/11/Plastics_the_facts-WEB-2020_versionJun21_final-1.pdf
- [19] Zero Waste Europe, « Zero Waste Europe Factsheet - France's law promoting bulk and reusable packaging. Waste Prevention Legislation », 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2021/11/zwe_11_2021_factsheet_france_en.pdf
- [20] ADEME, « AVIS de l'ADEME - Captage et stockage géologique de CO2 (CSC) en France », 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/69-avis-de-l-ademe-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france.html>
- [21] lelementarium.fr, « L'ammoniac - compilation d'études de l'Union des Industries de la Fertilisation, Fertilizers Europe, International Fertilizer Industry Association, Centre for European Policy Studies, J. Brightling et CITEPA », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://lelementarium.fr/product/ammoniac/>
- [22] Bloomberg, « China Approves Renewable Mega-Project for Green Hydrogen », Dan Murtaugh, août 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-08-18/china-approves-renewable-mega-project-focused-on-green-hydrogen>
- [23] GRDF, « Plus de 50 % du gaz consommé en France provient d'Europe », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.grdf.fr/installateurs/atouts-gaz/consommation-gaz-france>

- [24] P. G. Levi et J. M. Cullen, « Mapping Global Flows of Chemicals: From Fossil Fuel Feedstocks to Chemical Products », *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, n° 4, p. 1725-1734, févr. 2018, doi: 10.1021/acs.est.7b04573.
- [25] IEA, « The future of hydrogen », 2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

www.theshiftproject.org

Contacts :

Éric Bergé

Chef de projet Industrie
eric.berge@outlook.com

Maxime Efoui-Hess

Coordinateur du projet Industrie
maxime.efoui@theshiftproject.org

Ilana Toledano

Responsable presse et communication
ilana.toledano@theshiftproject.org

