



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

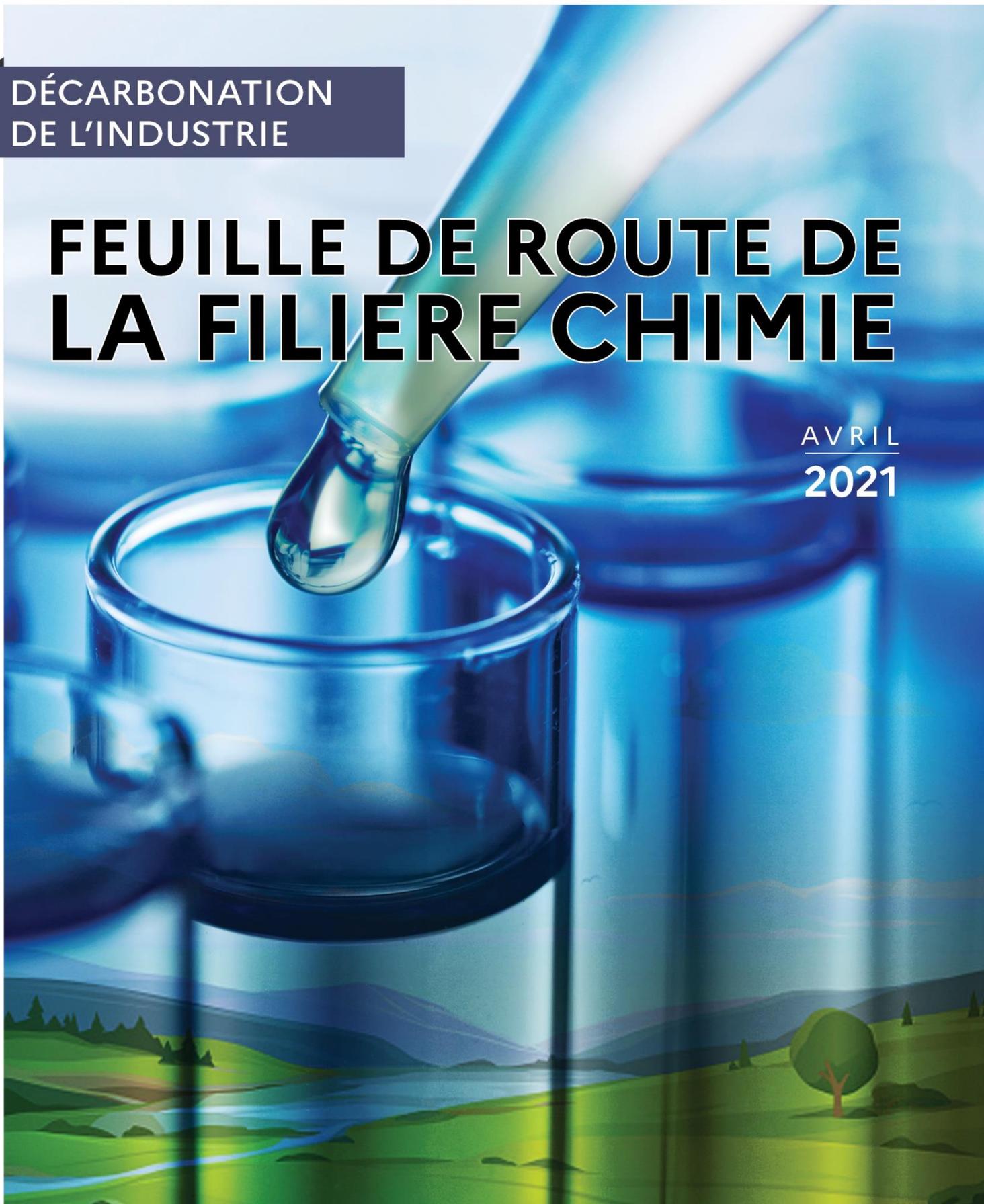
*Liberté
Égalité
Fraternité*



DÉCARBONATION
DE L'INDUSTRIE

FEUILLE DE ROUTE DE LA FILIÈRE CHIMIE

AVRIL
2021



SOMMAIRE

Feuille de route de décarbonation de la filière Chimie.....	3
I- Introduction et inventaire des émissions de la filière Chimie.....	3
Inventaire par sous-secteur.....	3
Inventaire et évolution par type de GES depuis 1990.....	3
II- Trajectoire de réduction des émissions de la filière Chimie à l'horizon 2030.....	6
Présentation générale.....	6
Décomposition par levier.....	7
III- Analyse de sensibilité du potentiel de décarbonation des leviers moins matures.....	11
Présentation générale.....	11
Décomposition par leviers.....	11
IV- Des projets déjà mis en œuvre pour atteindre l'objectif de réduction des émissions à horizon 2030.....	16

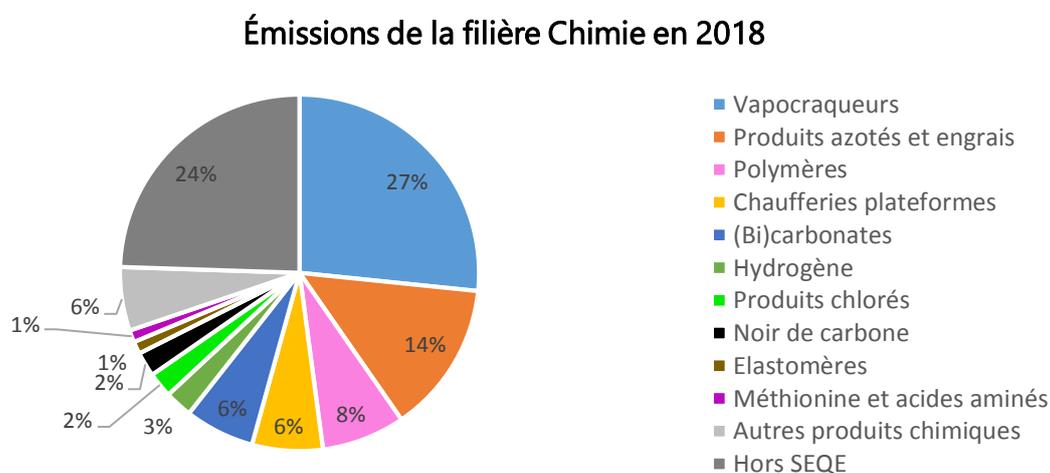
FEUILLE DE ROUTE DE DÉCARBONATION DE LA FILIÈRE CHIMIE

I. Introduction et inventaire des émissions de la filière Chimie

En 2018, les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur de la Chimie représentaient 20,1 MtCO_{2,eq}¹, soit 25 % des émissions de l'industrie manufacturière (79,5 MtCO_{2,eq} en 2018) et 90 % des émissions de la filière Chimie-Matériaux. Le secteur de la Chimie constitue l'un des trois secteurs les plus émetteurs de l'industrie manufacturière, avec la métallurgie (19,3 MtCO_{2,eq}) et les matériaux de construction (18,4 MtCO_{2,eq}).

Inventaire par sous-secteur

La répartition des émissions annuelles par sous-secteur de la filière Chimie en 2018 en France pour les sites compris dans le Système européen de quotas d'émissions (SEQUE) est donnée dans le diagramme ci-dessous. La part des émissions non couvertes par le SEQUE (24 %) est également représentée.



Source : EUTL².

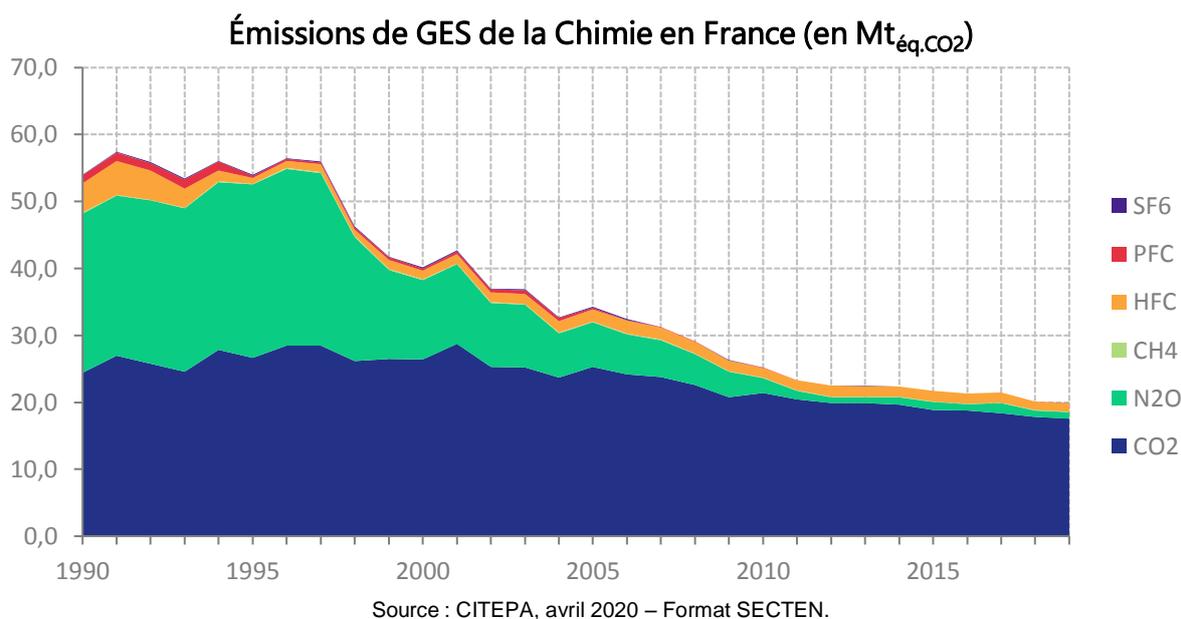
Les deux sous-secteurs les plus émetteurs de la filière chimie sont **la pétrochimie (27 %)** et **les engrais et produits azotés (14 %)**. Le reste des émissions de GES de la filière est très fragmenté.

Inventaire et évolution par type de GES depuis 1990

¹ CITEPA, avril 2020 – Format SECTEN. Il s'agit des émissions directes (scope 1).

² Chaufferies plateformes = GIE Osiris p.ex. Autres produits chimiques = Acide glyoxylique, alcools, amines grasses, biodiesel, bioéthanol, dérivés du propylène, dérivés résiniques et terpéniques, hydrates d'hydrazine, peptides de collagène, phénols et dérivés, vaniline, additifs, colles, colorants, pigments, savons, détergents, explosifs, ferments lactiques, fibres artificielles ou synthétiques, huiles et graisses, molécules pharmaceutiques de base, produits photographiques, catalyseurs, adsorbants, craie, produits à base de terre rare, résines échangeuses d'ions, silice précipitée, tétrafluorure d'uranium.

L'évolution des émissions annuelles de GES de la Chimie, détaillée pour chaque GES, est donnée dans la figure ci-dessous.



55 % de ces émissions de GES sont liées à la **combustion de produits énergétiques fossiles pour la production de chaleur**, nécessaire aux procédés industriels. **45 %** des émissions sont liées à **des émissions de procédés** (réactions chimiques autres que la combustion et torchage de gaz sur les installations chimiques notamment).

L'industrie de la chimie en France a réduit ses émissions de gaz à effet de serre de 63 %, entre 1990 et 2018, alors même que la valeur ajoutée du secteur augmentait de 26 %, notamment grâce :

- à une **diminution des émissions de N₂O**, liées à la production d'acides adipique et nitrique;
- à une **amélioration de l'efficacité énergétique** de sa production d'énergie et de ses procédés.

L'objectif de la présente feuille de route est double :

1. Proposer une **trajectoire de réduction des émissions de GES réalisable par la filière à l'horizon 2030**, en s'appuyant sur des leviers matures de décarbonation (efficacité énergétique, chaleur bas-carbone, abattement de N₂O et de HFC). Cette trajectoire est proposée dans la Section II ;
2. Présenter une **étude de sensibilité sur le potentiel de décarbonation des leviers moins matures**, pour identifier les conditions permettant une décarbonation plus profonde à l'horizon 2030, alignée avec la SNBC³. Cette étude est présentée dans la Section III.

La trajectoire à l'horizon 2030 anticipée par la filière aboutit, à production constante, à **une réduction des émissions de GES de 26 % en 2030 par rapport à 2015⁴ (soit de 5,7 MtCO_{2,eq})**.

Une réduction supplémentaire de 4 à 10 % pourrait être atteinte à l'aide de leviers moins matures. Ces scénarios sont présentés dans la Section III mais demeurent hypothétiques, en attendant une estimation plus précise de leur potentiel.

³ La Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) prévoit une réduction de 35 % des émissions entre 2015 et 2030 pour l'ensemble de l'industrie.

⁴ Émissions du secteur de la chimie en 2015 : 21,7 MtCO_{2,eq} (CITEPA, avril 2020 – Format SECTEN).

La présente feuille de route n'a pas vocation à être définitive. Elle sera complétée dans une seconde version d'ici la fin de l'année 2021, qui intégrera le secteur du Papier/Carton et qui enrichira l'analyse sur le déploiement des technologies de rupture. Plusieurs travaux en cours alimenteront son élaboration :

- les Plans de Transition Sectoriels (PTS) de l'ADEME, qui se focaliseront sur trois sous-secteurs de la Chimie (éthylène, ammoniac et dichlore), visent à coconstruire des trajectoires de décarbonation à l'horizon 2050 en ligne avec les objectifs de la SNBC. Ils s'appuieront sur une analyse bibliographique et sur des échanges avec les experts et les industriels. Ils permettront de proposer des actions publiques et privées et d'estimer les investissements nécessaires pour déployer les leviers de décarbonation, d'identifier les impacts sur l'emploi, et de mettre en contexte la trajectoire du secteur en tenant compte de son implantation territoriale et de ses marchés en transition. Les industriels du secteur de la chimie lourde contribueront à l'élaboration de ces Plans de Transition Sectoriels ;
- les travaux du Conseil National de l'Hydrogène, installé par le Gouvernement le 11 janvier 2021, afin de mettre en œuvre de façon efficace la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène bas-carbone ;
- le rapport du Syntec Ingénierie, prévu dans l'avenant au contrat de filière Chimie-Matériaux de mai 2021, permettra de préciser le potentiel de décarbonation des technologies de rupture dans le secteur de la Chimie. Il dressera un état des lieux des technologies de rupture disponibles, et déjà déployées en France ou à l'international, et proposera des politiques publiques pour accélérer leur mise en œuvre industrielle.

La contribution de la Chimie à la transition énergétique ira au-delà de la réduction de ses propres émissions de GES, puisque les produits et les procédés qu'elle propose, toujours plus innovants, offriront des solutions à l'ensemble de l'économie. Cette contribution essentielle se manifestera notamment par la participation des entreprises de la Chimie au développement :

- de produits biosourcés au service de l'agriculture et de la consommation ;
- de procédés qui permettront de contribuer à l'objectif de 100 % de plastiques recyclés ;
- de nouvelles technologies de production de principes actifs et intermédiaires ;
- des matériaux pour des bâtiments moins énergivores.

II. Trajectoire de réduction des émissions de la filière Chimie à l'horizon 2030

Présentation générale

Les différents leviers permettant d'atteindre une réduction de 26 % des émissions annuelles de GES d'ici 2030 ainsi que les réductions d'émissions annuelles correspondantes et les actions globales à mener par l'État et par la filière sont rassemblés ci-dessous. Le détail pour chacun de ces leviers est donné dans la Section « Décomposition par leviers ». Ce travail reste à établir pour certains modes de décarbonation de la chaleur⁵ tels que l'autoconsommation de biogaz, le raccordement à des unités de valorisation énergétique des déchets (UVE) et le solaire thermique.

Levier	Réduction des émissions annuelles de GES entre 2015 et 2030 (en MtCO _{2,eq})
Efficacité énergétique	-1,8
Chaleur biomasse	-1,4
Chaleur CSR	-0,8
N ₂ O	-0,8
HFC	-0,9
Total leviers matures	-5,7
En % par rapport à 2015	-26%

Actions transverses à mener par la filière

Se saisir des outils mis en place dans le cadre du plan de relance (notamment pour la décarbonation de l'industrie : AAP efficacité énergétique et décarbonation des procédés, AAP chaleur bas-carbone, guichet ASP), ainsi que ceux disponibles au niveau européen (fonds de transition juste, fonds d'innovation de l'ETS notamment), pour atteindre les objectifs de réduction d'émission identifiés.

⁵ Solutions identifiées dans l'étude ENEA-Frontier.

Actions transverses à mener par l'État

- ⇒ Donner de la visibilité sur la pérennisation des soutiens du Plan de relance relatifs à :
 - l'efficacité énergétique ;
 - la chaleur bas-carbone issue de la biomasse ou des combustibles solides de récupération, tout en limitant les conflits d'usage ;
 - la décarbonation des procédés, notamment via l'électrification.
- ⇒ Maintenir les outils permettant un accès compétitif et prévisible à l'électricité bas-carbone, tout en incitant à l'efficacité énergétique
 - outils pour favoriser un approvisionnement prévisible et compétitif en énergie bas-carbone pour l'industrie ;
 - travailler sur le cadre réglementaire pertinent permettant la conclusion de contrats d'approvisionnement électrique;
 - prolonger et sécuriser les mécanismes d'interruptibilité et de réduction du tarif d'utilisation du réseau public de l'électricité ;
 - mettre en place selon les possibilités ouvertes par les lignes directrices la compensation des coûts indirects du SEQE pour la période 2021-2030 ;
 - maintenir une fiscalité énergétique favorable à l'électrification des procédés.
- ⇒ Au niveau européen
 - défendre des mécanismes efficaces de protection contre les fuites de carbone, comprenant des dispositions correctrices pour éviter les effets de bord à l'export et sur les filières aval.

Décomposition par levier

1. Efficacité énergétique -1,8 MtCO_{2,eq}

Dans une industrie très intensive en énergie comme celle de la Chimie, le potentiel d'économies d'énergie a déjà été largement exploité du fait de l'enjeu de compétitivité associé à l'efficacité énergétique. La plupart des usines mettent déjà en œuvre les meilleures techniques disponibles, notamment les sites grands consommateurs d'énergie.

À l'avenir, les réductions de consommation d'énergie seront dues soit à des améliorations itératives, notamment via des actions de récupération la chaleur fatale, soit au remplacement d'équipements en fin de vie. Par exemple, l'installation d'un nouvel atelier de production sera l'occasion de valoriser un gisement de chaleur fatale. Ou encore, le remplacement d'une colonne de distillation sera l'opportunité d'installer un nouvel équipement qui valorise au maximum la chaleur fatale pour le préchauffage des réactifs.

Les études menées par les fédérations de la chimie allemande⁶ et néerlandaise⁷ estiment qu'une amélioration de l'efficacité énergétique de 1 % par an entre 2015 et 2030 est possible, ce qui correspondrait à une réduction des émissions de **1,8 MtCO_{2,eq} entre 2015 et 2030**.

⁶ Dechema pour le Cefic (2017), "Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry".

⁷ Ecofys pour VNCI (2018), "Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050".

Actions à mener par la filière

- ⇒ Établir un bilan du recours aux AAP de l'ADEME ;
- ⇒ Recourir aux éditions ultérieures de ce dispositif et mettre en place les projets d'amélioration de l'efficacité énergétique rentables, pour atteindre les objectifs de réduction d'émission identifiés ;
- ⇒ Promouvoir la mise en œuvre d'opérations d'efficacité énergétique, notamment par l'accès à des programmes de formations de type Prorefei/INVEEST.

Actions à mener par l'État

- ⇒ Poursuivre le soutien à l'investissement dans les projets d'efficacité énergétique grâce au renouvellement annuel de l'AAP Efficacité énergétique. Donner une visibilité aux industriels sur la pérennité de ce dispositif. Après un retour d'expérience sur cet AAP 2020 de la part de la filière, étudier l'adaptation de ses modalités et son extension si nécessaire ;
- ⇒ Poursuivre le soutien à l'efficacité énergétique *via* les CEE dans l'industrie.

L'AAP IndusEE lancé en 2020 dans le cadre du plan de relance a été renouvelé en mars 2021 (AAP Décarb Ind) et élargi à la décarbonation des procédés.

2. Source de chaleur décarbonée -2,2 MtCO_{2,eq}

- La combustion de CSR⁸**, en remplacement d'une partie des sources de chaleur carbonées, à hauteur de 2,5 TWh/an⁹, permettra une réduction des émissions de GES de **0,8 MtCO_{2,eq}** entre 2015 et 2030 ;
- La combustion de biomasse**, à hauteur de 4,7 TWh/an¹⁰, permettra une réduction des émissions de GES de **1,4 MtCO_{2,eq}** entre 2015 et 2030.

Combinés ensemble, ces deux leviers permettraient de réduire les émissions de GES de **2,2 MtCO_{2,eq}** entre 2015 et 2030. Sur ce point, il s'agira de pérenniser les dispositifs d'AAP lancés par l'ADEME et de garantir une visibilité sur la disponibilité de la ressource en combustibles. Notons que l'AAP Chaleur biomasse (BCIAT) de 2020 a été renouvelé en mars 2021.

En plus de la chaleur biomasse et des CSR, l'étude d'ENEA-Frontier a identifié deux autres modes prioritaires de décarbonation de la chaleur industrielle qui sont **l'autoconsommation (*i.e* sur site) de biogaz et le solaire thermique**. Sur son périmètre, qui est celui de la chimie, du papier/carton et des amylacés, l'étude identifie un potentiel de -300 ktCO_{2,eq}/an¹¹ pour l'autoconsommation de biogaz (correspondant à 1,5 TWh de chaleur), et de -110 ktCO_{2,eq}/an pour le solaire thermique (correspondant à 0,4 TWh de chaleur). Le potentiel de décarbonation de ces deux leviers sur le secteur spécifique de la Chimie n'a pas été déterminé.

L'autoconsommation de biogaz est en particulier pertinente lorsqu'elle vient en remplacement d'un projet d'injection de biométhane dans le réseau puisque l'investissement (et donc le besoin de soutien public) est moindre. La qualité du biogaz pour une injection dans le réseau (qualité biométhane) impose des coûts de traitement, d'odorisation et de compression du biogaz qui ne sont pas nécessaires dans le cas d'une autoconsommation du biogaz (dans la majorité des cas, une simple épuration du biogaz est requise). Le fait que l'injection de biométhane sur le réseau de gaz soit soutenue, et que l'autoconsommation ne le soit pas, crée donc

⁸ CSR : Combustibles Solides de Récupération. Dans ce calcul, les émissions de GES liées à la combustion des CSR (qui représenteraient ici 0,4 MtCO_{2,eq}/an) ne sont pas comptabilisées (i) de manière à refléter la substitution à l'incinération de déchets (ii) et parce que ces émissions relèvent à la fois du traitement de déchet et de la production de chaleur. Une meilleure répartition des émissions de GES entre la Chimie et le secteur des déchets pourrait éventuellement être fondée sur le chiffre d'affaires lié à ces activités.

⁹ Potentiel compatible avec l'estimation de la SNBC du gisement de CSR disponible à horizon 2030.

¹⁰ Ce potentiel a été estimé grâce à l'étude IGN FCBA ADEME sur la disponibilité forestière.

<https://www.ademe.fr/disponibilites-forestieres-lenergie-materiaux-a-lhorizon-2035>

¹¹ Ces deux valeurs correspondent à un abattement annuel *atteint* en 2029, et non à un abattement annuel constant d'ici 2030.

en certains cas une distorsion d'usage car les industriels sont incités à injecter leur biogaz sur le réseau au lieu de l'utiliser sur leur site.

Enfin, la solution de **raccordement à une unité de valorisation énergétique des déchets (UVE)** pose des problèmes pratiques qui rendent complexe l'évaluation de son potentiel de décarbonation: la disponibilité de la ressource est difficile à estimer (il y a de potentiels conflits d'usage avec les réseaux de chauffage urbains par exemple), et la faisabilité technique du raccordement n'est pas assurée pour tous les sites. Cependant, dans des conditions de raccordement favorables, les UVE sont compétitives avec le gaz naturel pour la production de chaleur. L'étude ENEA-Frontier a estimé le potentiel de décarbonation du raccordement aux UVE sur les secteurs Amylacés-Chimie-Papier/Carton à 1,1 MtCO_{2,eq}. Pour exploiter pleinement ce potentiel, deux conditions sont nécessaires : **d'abord, la visibilité des industriels doit être augmentée grâce à une cartographie des UVE existantes. Ensuite, l'implantation de nouvelles UVE doit prendre en compte la proximité avec des industriels dont les besoins permettent de valoriser efficacement ce gisement de chaleur fatale.** Ces actions pourraient être portées au niveau régional, en ligne avec l'application de la loi NOTRe qui précise que chaque région doit établir un plan national de prévention et de gestion des déchets. Une coordination à la maille nationale pourra être pertinente pour assurer le partage des bonnes pratiques et la capitalisation sur les travaux existants.

Actions à mener par la filière

- ⇒ Poursuivre le lancement de projets de décarbonation de la chaleur, pour atteindre les objectifs de réduction d'émission identifiés ;
- ⇒ Etablir un bilan des AAP de l'ADEME ;
- ⇒ Evaluer le potentiel de décarbonation du solaire thermique, des pompes à chaleur haute température et de la recompression mécanique de vapeur pour l'industrie chimique.

Actions à mener par l'État

Biomasse et CSR

- ⇒ Poursuivre le soutien à l'investissement et au fonctionnement pour les AAP biomasse et CSR. Donner une visibilité aux industriels sur la pérennité de ce dispositif. Après un retour d'expérience sur cet AAP 2020 de la part de la filière, étudier si besoin l'adaptation de ses modalités et son extension ;
- ⇒ Favoriser la disponibilité de la ressource en biomasse et de CSR pour des usages efficaces.

Biogaz

- ⇒ Mettre en place un cadre de soutien à l'autoconsommation de biogaz, en particulier lorsqu'il s'agit de privilégier cette méthode par rapport à une injection de biométhane dans le réseau.

Raccordement à des unités de valorisation énergétique des déchets (UVE)

- ⇒ Cartographier les gisements de chaleur liés à des UVE (quantité/qualité de chaleur disponible) ;
- ⇒ Planifier l'implantation des nouvelles UVE au regard de la localisation des sites industriels, seuls consommateurs d'énergie capables de valoriser efficacement la chaleur fatale de ces installations

3. Réduction des émissions de N₂O -0,8 MtCO_{2,eq}

Dans l'industrie de la Chimie, les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) résultent de la production :

- d'acide nitrique (production d'engrais) ;
- d'acide adipique (polymères nylon) ;
- d'acide glyoxylique (précurseur de médicaments).

Le N₂O possède un pouvoir de réchauffement global 298 fois plus élevé que le CO₂.

Des technologies existent et sont mises en œuvre depuis de nombreuses années pour abattre ces émissions : 95 % du N₂O produit est désormais capté et détruit. D'après des experts parmi les adhérents de France Chimie, il serait possible de parvenir à un taux de 98/99 % dans les prochaines années, grâce à un doublonnage des installations ou au travers de nouvelles technologies de catalyse. Cela correspondrait à une réduction des émissions **de 0,8 MtCO_{2,eq}**.

Notons que l'appel à projet « Decarb Ind » ouvert en mars 2021 s'est étendu aux projets proposant une réduction de leurs émissions de GES autres que le CO₂, comme le N₂O.

Actions à mener par la filière

- ⇒ Poursuivre les efforts d'abattement des émissions de N₂O, pour atteindre les objectifs de réduction d'émission identifiés.

Actions à mener par l'État

- ⇒ Poursuivre le soutien à l'investissement dans la décarbonation.

4. Réduction des émissions de HFC -0,9 MtCO_{2,eq}

Les hydrofluorocarbures HFC sont des gaz fluorés utilisés dans les secteurs du froid et de la climatisation, mais aussi dans les mousses d'isolation, les aérosols et les équipements d'extinction d'incendie. Leur manipulation peut entraîner des fuites qui, bien que minimes en termes de tonnage, représentent des émissions de gaz à effet de serre importantes, étant donné le pouvoir de réchauffement global élevé de ces gaz (jusqu'à 14 800 fois le pouvoir de réchauffement du CO₂ à 100 ans).

La réglementation européenne¹² vise le développement de nouveaux fluides frigorigènes à moindre PRG pour remplacer les HFC à fort PRG. L'objectif est d'atteindre, à l'horizon 2030, une réduction des émissions de gaz fluorés, exprimées en équivalent CO₂, de -60 % par rapport à 2005.

Il est difficile d'estimer quel pourrait être le potentiel de réduction des émissions de HFC de la Chimie en France dans les prochaines années. France Chimie propose un objectif de réduction des émissions de **0,9 MtCO_{2,eq}, en ligne avec l'objectif de l'Union Européenne (60 % de réduction par rapport à 2005)**. Un dialogue avec la filière des gaz frigorigènes sera nécessaire pour identifier les freins éventuels sur ce levier. Il faut noter que les émissions de HFC en France sont également liées à des importations illégales qu'il est difficile de chiffrer, et qui nuisent au déploiement d'alternatives aux HFC à fort pouvoir de réchauffement global.

À cet effet, l'appel à projet « Decarb Ind » ouvert en mars 2021 s'est étendu aux projets proposant une réduction de leurs émissions de GES autres que le CO₂, comme les HFC.

Actions à mener par la filière en partenariat avec l'État

- ⇒ Identifier les leviers d'accélération de la décarbonation de la filière des gaz fluorés.

¹² Règlement européen (EU) n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés

III. Analyse de sensibilité du potentiel de décarbonation des leviers moins matures

Présentation générale

Une estimation du potentiel de décarbonation des leviers moins matures pour trois scénarios de développement différents est présentée ci-dessous. Le **détail des hypothèses pour chaque levier et pour chaque scénario** est donné dans la Section « Décomposition par leviers ».

Levier	Scénarios de réduction des émissions de GES entre 2015 et 2030 (en MtCO _{2,eq})		
	Min.	Moy.	Max.
H ₂ bas-carbone	-0,5	-0,9	-1,1
CCS	-0,2	-0,4	-0,6
Électrification	-0,1	-0,3	-0,5
Total leviers supplémentaires	-0,8	-1,6	-2,2
En % (par rapport à 2015)	-4%	-7%	-10%
Total de tous les leviers	-6,5	-7,3	-7,9
En % (par rapport à 2015)	-30%	-34%	-36%

En combinant ces leviers additionnels aux leviers identifiés dans la Section 2, **la réduction des émissions de GES de la filière Chimie entre 2015 et 2030 pourrait donc être comprise entre 30 % (scénario *minimum*) et 36 % (scénario *maximum*)**. Cependant, ces scénarios demeurent hypothétiques et ne sauraient à l'heure actuelle servir de trajectoire à la décarbonation de la filière à l'horizon 2030. Des travaux plus approfondis, mentionnés en Introduction, permettront de concrétiser leur potentiel de décarbonation

La filière travaillera néanmoins au déploiement de ces technologies de rupture, en mobilisant les différents outils disponibles : PIA, fonds innovation de l'ETS, plan hydrogène, appels à projets sur la décarbonation des procédés du plan de relance, etc. L'objectif serait de déployer un projet pilote de rupture dans chacun des grands domaines d'activité de la chimie (éthylène, ammoniac, recyclage chimique...).

Décomposition par leviers

1. Utilisation d'hydrogène bas-carbone

La production d'hydrogène par les entreprises de la Chimie en France s'élève à 300 000 t/an et représente des émissions de gaz à effet de serre d'environ 2,7 MtCO_{2,eq}/an. Cet hydrogène est essentiellement utilisé comme matière première pour la désulfuration des carburants, pour la production d'ammoniac et dans certaines applications plus ponctuelles. Il est produit par vaporeformage (Steam Methane Reforming ou SMR, en anglais). Ce procédé de production est privilégié du fait de sa compétitivité (entre 1 et 1,5 €/kg_{H2}), mais il entraîne des émissions de CO₂ substantielles : entre 8 et 10 tonnes de CO₂ par tonne d'hydrogène produite (le benchmark européen 2013-2020 est fixé à 8,85 t_{CO2}/t_{H2}).

L'hydrogène bas-carbone¹³ est identifié comme une matière première et un vecteur énergétique majeur qui contribuera à la transition énergétique dans les secteurs des transports et de l'industrie. La Programmation

¹³ On désigne par hydrogène bas-carbone, la production d'hydrogène par un procédé peu émetteur de gaz à effet de serre comparé à la technologie de vaporeformage de gaz naturel.

Pluriannuelle de l'Énergie adoptée par décret le 21 avril 2020¹⁴ fixe pour objectif de parvenir à un objectif de 20 à 40 % d'hydrogène bas-carbone dans les consommations d'hydrogène industriel en France d'ici 2029. Les réductions d'émissions de GES dans le secteur de la chimie, correspondant à 20 %, 33 % ou 40 % d'hydrogène bas-carbone dans l'industrie, sont rassemblées dans le tableau ci-dessous. Une telle évolution nécessite la mise en place d'un soutien pour permettre un approvisionnement en hydrogène bas-carbone compétitif.

Hypothèses pour le potentiel de décarbonation par production d'hydrogène bas-carbone entre 2015 et 2030	Scénario bas 20 % d'H ₂ décarboné en 2030	Scénario médian 33 % d'H ₂ décarboné en 2030	Scénario haut 40 % d'H ₂ décarboné en 2030
		-540 000 t _{éq.CO2}	-900 000 t _{éq.CO2}

Actions à mener par la filière

- ⇒ Proposer des projets d'utilisation d'hydrogène décarboné au guichet AAP « Ecosystèmes territoriaux d'hydrogène ».

Actions à mener par l'État

- ⇒ Maintenir un approvisionnement en électricité décarbonée et compétitive à long terme ;
- ⇒ Favoriser la production et la consommation d'hydrogène bas-carbone ;
- ⇒ Travailler à la mise en place des mécanismes de financement *Contract for Difference* (CfD) ;
- ⇒ Etudier l'efficacité d'un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières pour la production d'ammoniac.

2. Capture et stockage du CO₂

La Stratégie nationale bas-carbone envisage la capture et le stockage du carbone (Carbon Capture & Storage ou CCS, en anglais) comme une solution à moyen terme pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le GIEC estime que les trajectoires de décarbonation compatibles avec une stabilisation à 1,5 °C des températures nécessiteront de faire appel à cette technologie.

Selon l'ADEME¹⁵, il existe un **potentiel de capture et de stockage du CO₂ de 24 Mt_{éq.CO2}/an en France**. À titre d'exemple, la zone portuaire du Val de Seine, entre Le Havre et Rouen représente des émissions de 6 Mt_{éq.CO2}/an et rassemble de nombreux sites industriels intensifs en énergie, dont les émissions de gaz à effet de serre sont à la fois importantes et difficiles à abattre en l'état des techniques disponibles, parmi lesquels on trouve plusieurs sites chimiques :

- 2 vapocraqueurs (Exxon à Port-Jérôme/Notre-Dame de Gravenchon et Total à Gonfreville) ;
- 1 producteurs d'ammoniac (Borealis à Grand-Quevilly) ;
- 1 vaporéformeur (Air Liquide alimentant la raffinerie d'Exxon à Port-Jérôme/Notre-Dame de Gravenchon).

Les émissions de gaz à effet de serre de ces sites s'élèvent à environ 3 Mt_{éq.CO2}/an, ce qui représente environ 30 % des émissions industrielles de sur la zone portuaire du Val de Seine.

En émettant l'hypothèse d'une mise en œuvre progressive et linéaire du CCS entre 2020 et 2050, on peut estimer qu'au plus un tiers du potentiel identifié par l'ADEME serait exploité à l'horizon 2030. La capture et le stockage de CO₂ sur la zone Val de Seine permettrait alors de réduire de 2 Mt_{éq.CO2}/an les émissions des industries présentes

¹⁴ Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie - Légifrance ([legifrance.gouv.fr](https://www.legifrance.gouv.fr))

¹⁵ Rapport de l'ADEME « Le Captage et Stockage géologique du CO₂ (CSC) en France », juillet 2020 : https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2020/07/captage-stockage-geologique-co2_csc_avis-technique_2020.pdf

sur ce territoire. En rapportant ce potentiel à la part des émissions de la Chimie parmi ces industries, on peut supposer que la capture et le stockage de CO₂ permettra d'abattre les émissions de gaz à effet de serre de la Chimie à hauteur de **600 000 t_{éq.CO2}/an**. L'ADEME estime le coût de la capture et du stockage de CO₂ dans la zone Val de Seine à 125 €/tCO₂. Le coût d'abattement de 600 000 tCO₂/an serait donc de **75 M€/an**.

Le CCS pose cependant des difficultés de connaissance des sols, d'acceptabilité sociale et de contractualisation qui pourraient rendre difficile son déploiement avant 2030. À titre illustratif, le rapport de synthèse des premiers éléments technico-économique du PTS Ciment de l'ADEME, publié en mars 2021, n'envisage pas le déploiement du CCS avant 2035.

Hypothèses pour le potentiel de décarbonation par capture et stockage de CO ₂ entre 2015 et 2030	Scénario bas 10 % du potentiel exploité	Scénario médian 20 % du potentiel exploité	Scénario haut 30 % du potentiel exploité
	-200 000 t _{éq.CO2}	-400 000 t _{éq.CO2}	-600 000 t _{éq.CO2}

Actions à mener par la filière

- ⇒ Étudier la viabilité des projets de capture et stockage/utilisation de CO₂ pour les activités de la chimie, ainsi que la possibilité de lancer un projet pilote sur un site industriel français.

Actions à mener par l'État

- ⇒ Accompagner un projet d'envergure duplicable ;
- ⇒ De plus, les consommations d'électricité importantes nécessaire à la capture du CO₂ impliquent de maintenir un accès compétitif et prévisible à une électricité bas-carbone compétitive, comme pour l'électrolyse. Les leviers d'action à ce sujet sont les mêmes que ceux qui sont listés au paragraphe précédent.

3. Électrification des procédés

L'électrification des procédés représente un potentiel limité dans la chimie. Toutefois, les coûts des projets envisagés restent raisonnables comparés aux solutions envisagées ci-dessus. Une étude de l'ADEME¹⁶, estime qu'il serait possible de substituer 2,6 TWh/an de consommation de combustible par 1,5 TWh/an d'électricité. En termes d'émission de CO₂, cela se traduirait par une baisse de -500 000 t_{éq.CO2}/an dans la Chimie.

Il s'agit principalement de déployer les technologies suivantes :

- Recompression mécanique de vapeur ;
- Pompes à chaleur ;
- Fours électriques.

Ces technologies ne sont pas encore largement déployées, ce qui rend difficile toute évaluation économique de leur rentabilité. Des démonstrateurs semblent toutefois indiquer qu'une rentabilité suffisante pourrait être obtenue pour un coût d'abattement de **100 à 150 €/tCO₂**.

Le coût correspondant au potentiel d'abattement identifié ci-dessus serait ainsi de **40 à 60 M€**.

¹⁶ Rapport de l'ADEME « Première analyse du potentiel technique d'électrification des procédés industriels thermiques par des technologies matures », juin 2020
https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/electrification-procedes-industriels-france_2020_synthese.pdf

Hypothèses pour le potentiel de décarbonation par électrification des procédés	Scénario bas 30 % du potentiel exploité	Scénario médian 60 % du potentiel exploité	Scénario haut 100 % du potentiel exploité
	-150 000 t _{éq.CO2}	-300 000 t _{éq.CO2}	-500 000 t _{éq.CO2}

Actions à mener par la filière

- ⇒ Étudier la viabilité de projets pilotes d'électrification des procédés un sur site industriel français ;
- ⇒ Investir dans des projets d'électrification des utilités ou des procédés.

Actions à mener par l'État

- ⇒ Outre les investissements importants nécessaires pour ce type de projet, le coût de l'électricité est déterminant pour leur assurer une rentabilité suffisante. Par conséquent, l'électrification des procédés nécessite la mise en œuvre des mêmes politiques publiques que pour le développement de l'hydrogène bas-carbone ;
- ⇒ Favoriser un approvisionnement compétitif et prévisible en électricité.

4. Autres technologies

D'autres pistes de réduction des émissions de GES existent, correspondant soit à d'autres procédés (chimie en flux, utilisation de biotechnologies) qui permettront de réduire la consommation énergétique, soit à l'utilisation d'intrants non-fossiles dans la chimie. Pour ce dernier point, trois méthodes sont envisageables :

- le recyclage chimique des plastiques ne pouvant être recyclés mécaniquement. Cependant, une étude d'impact doit être menée pour évaluer l'impact du recyclage chimique sur les émissions de GES sur le périmètre de la Chimie et sur les émissions évitées dans les autres secteurs ;
- la chimie du végétal ;
- l'utilisation du CO₂ comme matière première, par exemple dans la synthèse d'alcènes et d'aromatiques et la production d'urée.

On peut également citer les leviers de décarbonation supplémentaires suivants :

- la production de bioéthylène par déshydratation du bioéthanol ;
- l'utilisation de membranes bipolaires dans la production de dichlore ;
- la synthèse directe de l'ammoniac ;
- le développement de nouveaux catalyseurs permettant des réactions à moindre température ;
- le développement de la chimie en flux...

La mise en œuvre de ces nouvelles technologies aura un effet substantiel sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre de la France et sur l'empreinte carbone de la consommation des Français. Toutefois, dans certains cas et du fait du découpage sectoriel des sources d'émissions, cela pourrait se traduire par une augmentation des émissions de CO₂ sur le périmètre de la Chimie.

Actions à mener par la filière

- ⇒ La filière évaluera plus précisément le potentiel de ces modes de décarbonation supplémentaires, notamment *via* la publication d'un rapport, comme convenu dans l'avenant au contrat stratégique de filière, sur les technologies de rupture applicables à l'industrie chimique et partager ces résultats avec l'ADEME au sein du projet de PTS de l'industrie chimique de l'ADEME ;
- ⇒ **S'appuyer sur le soutien de l'État à l'investissement dans des unités industrielles de recyclage chimique et à travers la stratégie d'accélération « Produits biosourcés et carburants durables » pour lancer des projets pilotes.**

Enfin, notons que **certaines évolutions qui pourraient fortement impacter la trajectoire d'évolution des émissions de gaz à effet de serre n'ont pas été prises en compte** dans cette feuille de route :

- **une relocalisation de l'industrie en France augmenterait les émissions nationales, mais réduirait les émissions globales et aurait donc un effet bénéfique pour le climat ;**
- la croissance du secteur de la Chimie en France pourrait contribuer à accroître les émissions de CO₂.

IV. Des projets déjà mis en œuvre pour atteindre l'objectif de réduction des émissions à l'horizon 2030

Les aides à l'investissement mises en place par l'État, notamment dans le cadre du volet décarbonation du plan de relance ou des AAP CSR, permettent d'ores et déjà de concrétiser des projets d'amélioration de l'efficacité énergétique et de substitution de charbon par des CSR.

GIE Osiris – Valorisation énergétique de résidus dans la plateforme chimique de Roussillon -30 000 tCO₂eq/an

Aide à l'investissement dans le cadre de l'AAP IndusEE

Le projet de décarbonation de la plateforme chimique de Roussillon prévoit notamment la mise en place d'une chaudière de valorisation énergétique des 6 000 tonnes par an de résidus de distillation de l'activité « Phénol et Cumène » produits par l'entreprise NOVAPEX (groupe SEQENS), actuellement éliminés sans valorisation énergétique. Les investissements soutenus permettront d'une part, l'arrêt de l'utilisation de charbon sur la plateforme et, d'autre part, d'atteindre une consommation de chaleur à 73 % d'origine renouvelable et de récupération, réduisant ainsi les émissions de CO₂ d'environ 30 000 tonnes par an. Le GIE OSIRIS porte ce projet dans un contexte global de diminution très importante de son empreinte énergétique et climatique, permise par de précédents investissements dans la chaleur biomasse, l'efficacité énergétique et la valorisation de chaleur fatale.

Inovyn – Chimie – Electrification de procédé -60 600 tCO₂eq/an

Aide à l'investissement dans le cadre de l'AAP IndusEE

INOVYN France produit annuellement sur le site de Tavaux environ un million de tonnes de produits chimiques essentiels issus de l'électrolyse de l'eau et du sel et emploie directement près de 800 personnes. Le site engage avec le soutien du plan France Relance son premier projet de grande ampleur pour la décarbonation. L'opération d'amélioration de l'efficacité énergétique repose sur le remplacement du procédé de concentration de la saumure pour la production de sel solide par un procédé plus performant. La saline actuelle, utilisant de la vapeur produite à partir de gaz, sera substituée par une nouvelle saline dotée d'une recompression mécanique de vapeur (RMV) fonctionnant à l'électricité. Cet investissement très important entrainera à terme une réduction de la consommation d'énergie primaire de 212 000 MWh chaque année et une réduction des émissions de CO₂ de plus de 60 000 tonnes par an.

Novacarb - Production de bicarbonate et carbonate de sodium - Electrification : remplacement d'un turbocompresseur par un moto-compresseur -27 700 tCO₂eq/an

Aide à l'investissement dans le cadre de l'AAP IndusEE

Le projet porté par NOVACARB prévoit le remplacement d'un turbocompresseur vapeur par un moto-compresseur électrique plus performant et permettant d'éviter la consommation de vapeur issue de la combustion du charbon. Cet investissement apportera une économie d'énergie de plus de 3 000 MWh par an et une réduction des émissions de CO₂ de plus de 27 000 tonnes de CO₂ équivalent par an aux bornes de l'équipement utilisé. Le projet moto-compresseur de NOVACARB s'intègre dans un programme plus global de l'entreprise visant à sortir complètement du charbon, aujourd'hui utilisés pour la production de vapeur haute et basse pression sur son site de production. L'objectif pour 2024 est de faire du site de NOVACARB un benchmark européen en matière de transition énergétique et de décarbonation, avec une réduction de plus de 60 % des émissions de CO₂ générées par la production d'énergie.

Arkema – Fabrication de produits chimiques organiques de base – Amélioration de l'efficacité énergétique et élimination du fioul lourd -4400 tCO₂eq/an

Aide dans le cadre de l'AAP IndusEE 2020

L'usine Arkema Marseille produit une matière première du Rilsan® 11, plastique technique d'origine 100 % végétale. Le projet financé permet une meilleure fiabilité du réseau vapeur nécessaire à la fabrication, tout en réduisant son impact environnemental. L'opération consiste en un revamping d'une chaudière de production de vapeur consommant aujourd'hui 40 % de fioul lourd et 60 % de biomasse interne issue du processus de distillation de l'huile de ricin. Les bénéfices sont à la fois une augmentation du rendement chaudière et la substitution du fioul lourd par du gaz naturel.

Solvay – Remplacement des chaudières charbon pour la production de bicarbonate et carbonate de sodium par une chaudière CSR -240 000 tCO₂eq/an

Aide dans le cadre de l'AAP CSR 2019

Le projet Solveo, porté par Solvay et Veolia, vise la construction d'une chaudière de 180 MW afin d'alimenter la soudière de Dombasle-sur-Meurthe en substitution du charbon.

Novacarb - Remplacement des chaudières charbon pour la production de bicarbonate et carbonate de sodium par une chaudière CSR – 67 000 tCO₂eq/an

Aide dans le cadre de l'AAP CSR 2019

Le projet CSR@LaMadeleine, porté par ENGIE vise la construction d'une chaudière de 47,5 MW afin d'alimenter la soudière de Novacarb à Laneuveville-devant-Nancy en substitution du charbon.

ENGIE/Bioenergie du Sud-Ouest – Projet de chaufferie biomasse valorisant des bois en fin de vie adjuvantés dans le secteur de la chimie – 65 000 tCO₂eq/an

Aide dans le cadre de l'AAP BCIAT 2020

Bioénergie du Sud-Ouest (BSO) exploite une usine implantée à Arance (64300), spécialisée dans la production de bioéthanol (20 % de la production nationale) à partir de maïs de la région Sud-Ouest. BSO produit également des drêches de distillerie destinées à l'alimentation animale, ainsi que de l'huile végétale, et, suite au contexte de la COVID-19, de la matière première pour la production de gel hydroalcoolique. ENGIE Energie Services porte l'investissement et l'exploitation d'une chaufferie biomasse de 43 MW qui permettra de produire 314 GWh/an sous forme de vapeur (11 bars, 185 °C) revendue à BSO pour les besoins des processus industriels. Ce projet doit permettre d'assurer la pérennité de BSO en contribuant à sa stratégie de décarbonation. Il permettra de valoriser les flux de déchets de bois en fin de vie au niveau régional qui sont exportés en partie par voie maritime, faute de valorisation à proximité.

GIE Osiris – Raccordement de la plateforme Osiris à l'incinérateur de Trédi – 120 000 tCO₂eq/an

Essentiellement financements privés

Situé sur INSPIRA – Espace industriel responsable et multimodal - Trédi Salaise fournissait déjà une partie de la vapeur produite par ses installations, soit 200 000 tonnes / an produites par les unités 1 et 2 du site. Trédi a cherché à optimiser la récupération des 400 000 tonnes / an de vapeur fatale produites par son unité n°3 actuellement majoritairement turbinées via un groupe turbo-alternateur de 14 MW pour produire de l'électricité vendue sur le réseau avec une efficacité énergétique limitée. Trédi s'est donc rapproché du GIE Osiris pour proposer de tripler les tonnes de vapeur livrées aux consommateurs industriels voisins et élaborer un nouveau réseau de chaleur. La fourniture additionnelle répond à 30 % des besoins de la plateforme et se substitue aux chaudières à charbon et gaz autrefois utilisées par le GIE Osiris. En tout, l'usine va vendre 600 000 tonnes de vapeur par an au GIE. Pour la plateforme chimique, cela va signifier aussi une économie de 120 000 tonnes de CO₂ par an.