

Transition énergétique : comment la recherche de Total trace la route (vers la neutralité carbone)

Olivier Greiner est directeur de la recherche et du développement de la branche Raffinage Chimie de Total¹.

1 Les « promesses » de Total pour 2050

1.1. L'ambition de Total : la neutralité carbone

L'objet du chapitre est de présenter le rôle de la recherche chez Total dans l'aventure entamée par le groupe vers la neutralité carbone (*Figure 1*), fixée par la déclaration suivante énoncée en mai 2020 : « Total partage l'ambition d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 en phase avec la société pour l'ensemble de ses activités mondiales sur les scopes (objectifs) 1, 2 et 3. »

Tous les mots sont importants dans cette phrase, notamment

l'engagement de la société – essentiellement les utilisateurs des produits de Total et ses fournisseurs – qui doit bien entendu partager les objectifs de la neutralité carbone et créer les conditions, notamment réglementaires, pour l'atteindre. Précisons en expliquant ce que sont les « scopes » 1, 2 et 3 (*Figure 2*) :

– le scope 1 : ce sont les émissions de CO₂ des installations industrielles ;

– le scope 2 : ce sont les émissions indirectes des usines.

Un exemple : si on consomme dans une des usines de l'électricité qui a été produite à partir de charbon, l'électricité en question sera porteuse

1. www.total.com/fr



Figure 1

Les énergies renouvelables pour la neutralité carbone.

d'émissions de CO₂ qui devront être comptabilisées ;

– le scope 3 concerne les émissions de CO₂ liées à l'utilisation de nos produits par les clients. Par exemple, si un client remplit son réservoir avec de l'essence il va émettre du CO₂.

Ces scopes 1, 2 et 3 sont des concepts maintenant utilisés partout dans l'industrie pour mesurer les émissions de CO₂.

1.2. Les trois axes majeurs pour atteindre la neutralité carbone

Le premier axe concerne les émissions des scopes 1 et 2, donc les émissions industrielles des activités de Total pour lesquelles son objectif est d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Quand on parle de neutralité carbone, on parle bien des émissions nettes², expression expliquée sur la **Figure 3**.

2. Émissions nettes : émissions brutes (voir note 4) en partie diminuées par des causes naturelles (forêts, prairies...) et artificielles (technologies à émissions négatives).

Le deuxième axe concerne plus spécifiquement l'Europe ; c'est l'engagement d'être neutre en carbone pour toutes les activités de Total en Europe à partir de 2050 en tenant compte non seulement de ses émissions industrielles, mais aussi des émissions dues à ses clients. Pourquoi être plus exigeant en ce qui concerne l'Europe ? C'est pour être cohérent avec l'engagement de l'Union européenne de viser la neutralité carbone d'ici 2050.

Le troisième axe est l'ambition de réduire l'intensité carbone³ des produits de Total de 60 % d'ici 2050. L'intensité carbone ne désigne pas une valeur absolue comme pour les engagements 1 et 2 mais une valeur relative par tonnes de produits vendus : il y aura 60 % de moins de CO₂ généré dans l'usage et la production de ce produit.

Les deux premiers objectifs, exprimés en valeurs absolues, concernent les tonnes émises par le groupe Total dans son activité. Ils sont donc

3. Intensité carbone : rapport des émissions de CO₂ à la production de l'entreprise (exprimé en gCO₂/MJ).

1	Net Zero sur les opérations d'ici 2050 ou plus tôt (Scope 1+2)
2	Net Zero en Europe d'ici 2050 ou plus tôt (Scope 1+2)
3	60 % ou plus de réduction nette de l'intensité en carbone d'ici 2050 (Scope 1+2+3)

Figure 2

Les trois scopes utilisés dans l'industrie.

susceptibles de représenter un frein à la croissance des activités de l'entreprise.

La **Figure 3** donne une image de ce que pourrait être le trajet à suivre pour atteindre cet objectif de la neutralité carbone, *a priori* ambitieux pour une entreprise qui produit (entre autres) des combustibles fossiles.

Les deux premières colonnes montrent les performances déjà réalisées ; ce sont les émissions des installations de Total sur les scopes 1 et 2 en 2015 et en 2019. En 2015, le groupe Total a émis 46 millions de tonnes de CO₂, et en 2019 ces 46 millions se sont déjà réduits à 41 millions. Dans ces 41 millions, un certain nombre de millions de tonnes proviennent de nouvelles activités ou d'acquisitions ; par contre, les actifs présents en 2015 ont diminué beaucoup plus fortement leurs émissions de CO₂. La somme de ce qui existait en 2015 et de ce qui a été rajouté depuis correspond à une diminution de l'émission totale. C'est l'objectif retenu pour les années suivantes : concilier croissance, démarrage de nouvelles activités et diminution des émissions de CO₂ sur les activités existantes de façon à ce que la somme des émissions continue de baisser.

1.3. Les différentes énergies chez Total : priorité pour le futur

Clairement, on ne peut pas envisager d'arriver à des émissions brutes⁴ de CO₂ nulles

4. Émissions brutes : émissions de gaz à effet de serre produites par l'activité industrielle.

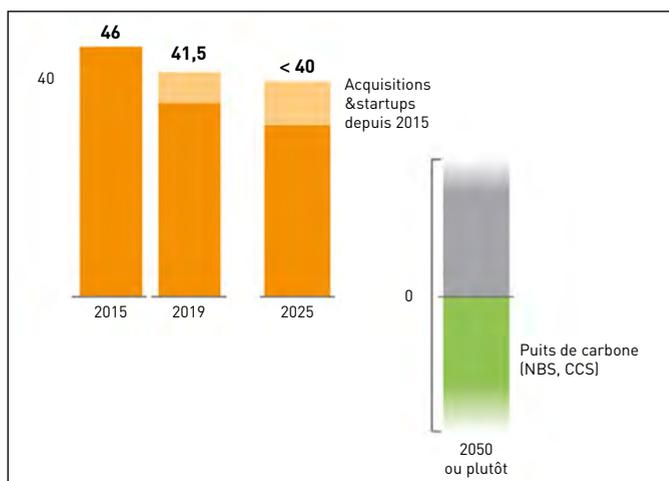


Figure 3

Scopes 1 et 2 : émissions des installations pétrolières et gazières exploitées (Mt/a - CO₂e). L'Objectif : 5 à 10 Mt/a capacité de puits d'ici 2030.

Orange foncé : émissions de scope 1 et 2 des activités existantes ; orange clair : émissions des nouvelles activités (croissance) ; vert : émissions négatives qui permettront in fine de compenser les émissions résiduelles des activités en 2050.

même en 2050 puisqu'il restera des activités émettrices : utilisation résiduelle d'énergies fossiles – certains moyens de transports par exemple –, qu'il faudra compenser par des activités à émissions négatives : des activités qui vont absorber du CO₂ pris dans l'atmosphère, ce qu'on appelle des puits de carbone.

Des puits de carbone très divers existent. Certains sont de « type naturel », d'autres de « type technologique ». Les puits de carbone de type technologique sont appelés de type CCS (« Carbon Capture and Storage », ou capture et stockage du carbone). Ils consistent à capturer du CO₂ soit à la sortie des installations, à la cheminée par exemple, soit directement dans l'atmosphère, puis à le concentrer et

le stocker, par exemple dans des anciens gisements pétroliers. Les activités de « type naturel » sont par exemple la restauration d'écosystèmes, de forêts, ou l'utilisation de la photosynthèse pour capter du CO₂ de façon quantifiée et auditable dans l'atmosphère.

Cette démarche vers la neutralité carbone ainsi qu'envisagée par le groupe Total entraîne un grand nombre d'impacts sur les stratégies industrielles et commerciales qui devront être complètement transformées par rapport aux années passées et complètement orientées vers la demande sociale en matière d'énergie (Figure 4).

Les grandes lignes de la stratégie industrielle à développer par Total se présentent comme suit :

– pour les énergies fossiles, privilégier le gaz. Le gaz est en effet l'énergie fossile la moins riche en carbone, comparée

au pétrole ou au charbon. Par ailleurs, les technologies de décarbonation lui seront appliquées de plus en plus : par exemple l'ajout d'hydrogène ou de biogaz préparé à partir de carbone capté directement dans l'atmosphère ;

– développer les activités de production et de distribution d'électricité : Total exploite déjà les procédés de production basés sur le gaz comme complément aux électricités produites à partir d'énergies renouvelables. Par ailleurs, le groupe a investi ces dernières années plusieurs milliards d'euros dans des développements et dans des acquisitions d'activités de production ou de distribution d'électricité et l'objectif est de maintenir et d'accélérer dans ces domaines. On pourra donc dire dorénavant que Total est aussi un électricien et non seulement producteur mais aussi distributeur jusqu'au client final ;

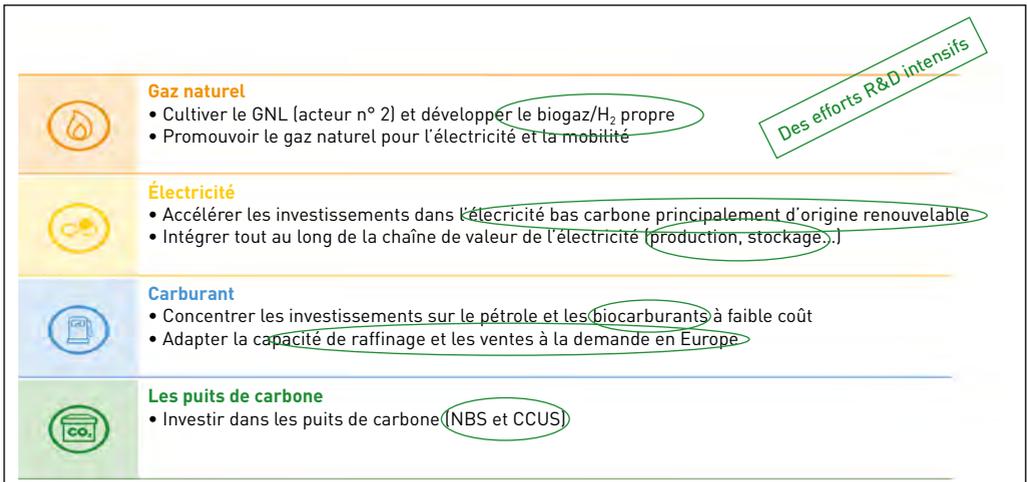


Figure 4

Les grands axes de la transition énergétique de Total.

– dans le domaine des carburants, la stratégie de Total est de produire des carburants abordables pour les clients et les moins chargés possibles en carbone. Les activités sont ainsi concentrées sur des pétroles à bas coûts relativement faciles à exploiter.

Mais surtout, les « biocarburants » devraient représenter une part très importante des carburants liquides commercialisés. Du fait de leur grande densité d'énergie, ils sont en effet une solution d'avenir pour les moyens de transports qui ne pourront pas se passer de carburant liquide, comme l'aviation par exemple, pour laquelle ils resteront longtemps le moyen incontournable de les alimenter ;

– d'un autre côté, l'adaptation des capacités de raffinage reste à l'ordre du jour puisque la demande en produit pétrolier – et donc le besoin de capacité de raffinage – devrait baisser. Ce qui a été fait ces derniers temps, qu'il s'agisse de la raffinerie de la Mède⁵ ou prochainement la raffinerie de Grandpuits⁶, est de transformer ces installations en installations zéro fossile, bas carbone de façon à pouvoir maintenir les compétences et les emplois sur les sites en les utilisant pour la transition énergétique du groupe ;

5. Raffinerie de Mède : anciennement « Raffinerie de Provence », située dans le quartier de Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône). La plateforme a pour objectif d'être la première raffinerie de Biodiesel française de taille mondiale.

6. Raffinerie Grandpuits : raffinerie de pétrole française située en Seine-et-Marne, à 57 km de Paris.

– le dernier thème est l'amélioration des puits de carbone, forcément un volet important des activités futures puisqu'il faudra trouver les moyens d'absorber les quantités de CO₂ résiduelles des activités de Total pour atteindre la neutralité carbone.

En vert sur la *Figure 4* sont indiqués les domaines de ces axes stratégiques où la recherche va jouer un rôle prépondérant. Il est évident que pour Total, se transformer en un groupe neutre en CO₂ va devoir passer par l'utilisation de gros efforts de recherche, donc la recherche est vraiment au centre de cette transformation, de cette transition.

2 La R&D au cœur de ces « promesses »

2.1. Les domaines d'investissement chez Total

Total dépense un peu moins d'un milliard de dollars par an en activités de R&D et ces dépenses sont réparties entre cinq grands pôles qui caractérisent la nature de ses projets de recherche (*Figure 5*).

Le pôle « Bas Carbone » représente déjà aujourd'hui 44 % de ses efforts de recherche. L'objectif est d'arriver rapidement au-dessus de 50 %.

Les efforts de R&D autour de l'Efficacité Opérationnelle sont et resteront très importants : améliorer l'efficacité énergétique des installations, réduire leur consommation de catalyseurs, améliorer leurs performances économiques, lutter contre la corrosion et travailler sur les modèles de fonctionnement.

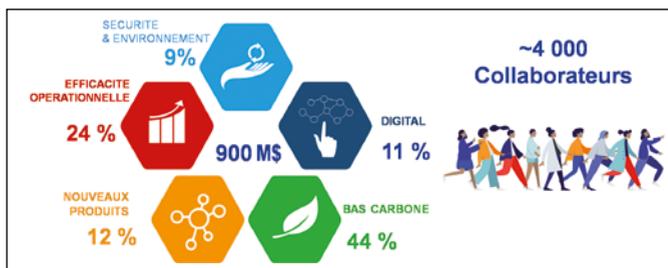


Figure 5

Les investissements par domaine de R&D chez Total.

La recherche se mobilise aussi, bien entendu, sur les questions d'Environnement : comment réduire l'impact des usines ? On a parlé beaucoup du CO₂ mais Total veut aussi réduire l'impact de ses usines sur les autres domaines de l'environnement comme l'impact sur l'eau, l'impact sur l'air, les émissions d'autres composés organiques, etc.

La recherche de Total étudie aussi les Nouveaux Produits possibles en travaillant par exemple sur la qualité et la performance, qu'il s'agisse de carburant mais aussi de polymères puisque Total est un producteur important de polymères.

Enfin, le volet « Digital » est un volet en croissance pour la recherche puisque l'ensemble des activités du groupe sont engagées dans la voie du développement numérique : la plupart de ses procédés sont maintenant complètement suivis de façon digitale et la recherche elle-même fait de plus en plus appel à l'utilisation de calculs scientifiques et de modèles, ce qui devrait la rendre plus rapide, moins basée sur l'expérience et davantage sur le calcul, la théorie, la prédiction.

Au total, environ 4 000 personnes sont au travail dans les activités de recherche du groupe Total, à peu près un quart dans les activités Oil and Gas, et les autres dans les filiales de spécialités.

Voici maintenant quelques projets représentatifs de la R&D de Total qui illustreront son approche vers la neutralité carbone.

2.2.1. Les projets de capture du CO₂

Un premier volet concerne la capture du CO₂ (voir le scope 1 au début du chapitre) ; il s'agit de capturer le CO₂ et de créer des puits de carbone.

La **Figure 6** présente deux projets en cours : le « projet 3D » (à gauche) est fortement soutenu par l'Union européenne. Il consiste à capter le CO₂ des gaz de hauts fourneaux des usines d'ArcelorMittal à Dunkerque et utiliser un procédé proche des moyens traditionnels de captage de CO₂ industriel, mais toutefois basé sur un solvant particulier (**Encart : Les partenariats sont obligatoires**).

Les amines, généralement utilisées, sont efficaces mais consomment beaucoup d'énergie pour absorber le

LES PARTENARIATS SONT OBLIGATOIRES

Le projet 3D fait intervenir onze partenaires et quasiment tous les projets dont il est question comportent de nombreux partenaires. Le domaine de la transition énergétique est en effet un domaine où l'on travaille rarement seul pour plusieurs raisons :

- d'abord parce que l'on n'est pas, en général, dans sa zone de confort en matière de compétences et en matière de métier. Le fait de travailler avec plusieurs partenaires permet de regrouper les compétences et de profiter des complémentarités ;
- une deuxième raison est la réduction des coûts. Si on est plus nombreux sur un projet, l'investissement de chacun des partenaires est plus faible, et si d'aventure le projet ne débouchait pas, cela permet de réduire les risques pour chacun des partenaires.

CO₂ puis pour être régénérées. Ici, on utilise un solvant « démixant », dont l'action est basée sur une différence de pression ; le CO₂ est absorbé dans le solvant puis désorbé, avec une dépense beaucoup moindre en énergie lorsqu'on réduit la pression. L'objectif est de diminuer la consommation d'énergie de 30 à 40 % pour arriver en dessous des 100 dollars par tonne de CO₂ – l'ordre de grandeur du coût actuel. Le CO₂ est ensuite chargé sur des bateaux à Dunkerque et acheminé en Mer du Nord pour être séquestré dans des anciens gisements de pétrole.

L'autre projet s'appelle Cheers (*Figure 6*). C'est un projet sino-européen – la moitié des partenaires sont chinois et l'autre moitié européenne. Il est soutenu à la fois par l'Union européenne et par le gouvernement chinois, et vise à démontrer l'intérêt de la « combustion en boucle chimique ». Ce procédé est basé sur deux réacteurs qui

permettent de brûler un combustible sans excès d'oxygène. Ce résultat est obtenu par l'utilisation de petites particules de métal qui circulent entre les deux réacteurs et qui servent à transporter de l'oxygène. Le métal est introduit dans le premier réacteur (le réacteur à air), et, au contact de l'air chaud, il capte l'oxygène. On rejette l'excédent d'oxygène ainsi que l'azote de l'air, et on emmène le métal porteur d'oxygène dans le deuxième réacteur où il va être mis en contact avec le combustible qui se consomme alors avec juste la quantité d'oxygène nécessaire à sa combustion. Les produits sont uniquement du CO₂ et de l'eau, et pourront être facilement séparés par condensation de l'eau. Le métal débarrassé de son oxygène est recyclé et régénéré dans le premier réacteur. Ce procédé produit automatiquement un flux de CO₂ pur, ce qui est très avantageux pour l'efficacité



Figure 6

Projet 3D et projet Cheers.

énergétique du procédé. La réduction du coût visée est de 30 % comme dans le projet 3D.

2.2.2. Les projets de Total visant le développement des biocarburants et des bioproduits

Le deuxième domaine abordé, qui est le domaine des biocarburants ou des produits biosourcés, aborde un autre moyen de réduire les émissions de CO₂ puisque tous ses ingrédients ont poussé grâce au carbone capté dans l'atmosphère.

Le premier projet, le projet BioTfuel (Figure 7) en cours actuellement à Dunkerque, consiste à gazéifier de la biomasse. La biomasse est d'abord torréfiée, comme on torréfie du café : cela consiste simplement à la chauffer pour en enlever l'eau. Elle est ensuite introduite dans un gazéifieur, où règnent

une haute température, une haute pression et de l'oxygène ; ce traitement permet d'exploser les molécules et de les transformer en gaz de synthèse, mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène, qui va être purifié et envoyé dans un réacteur où il va être transformé en carburant synthétique. Ce procédé est donc une voie possible pour la production de carburant aérien à partir de biomasse. Si on utilise un carburant aérien produit à partir de biomasse, le CO₂ produit par l'utilisation du biocarburant aura été, à l'origine, capté directement dans l'atmosphère pour assurer la croissance de la biomasse. L'opération est donc en principe « zéro carbone », donc idéale du point de vue du bilan carbone, à l'exception des émissions du procédé de transformation lui-même. Ce projet est en cours depuis

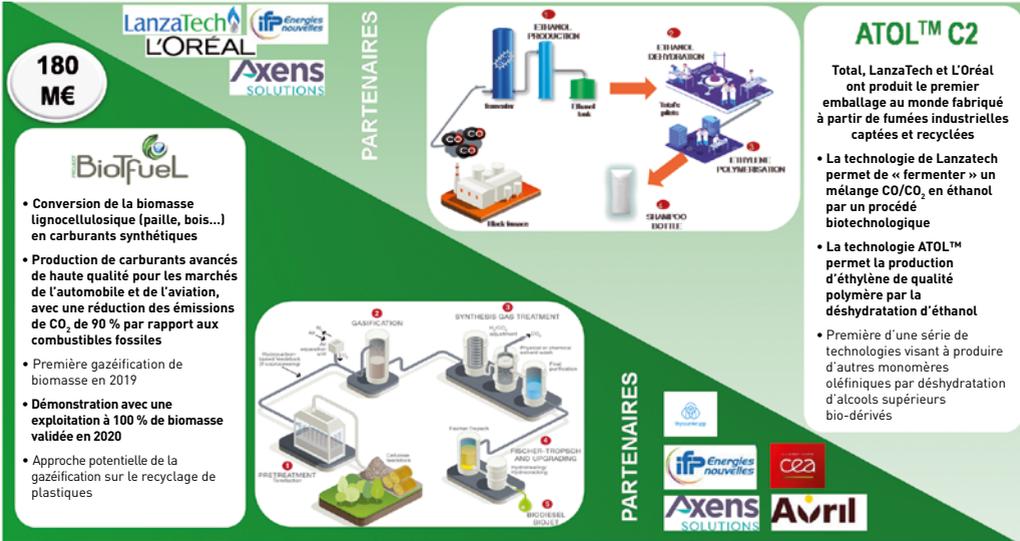


Figure 7

Les projets BioTfuel et Atol.

deux ans et devrait se terminer en 2021.

ATOL est un autre projet, dont l'objectif est de fabriquer des bouteilles en plastique à partir de déchets sans utilisation de pétrole, et qui a vu sa conclusion en 2021 (Figure 7). ATOL a été mené en commun avec LanzaTech, un fournisseur de technologies qui exploitent du monoxyde de carbone ou du CO₂ provenant de cheminées industrielles (typiquement de hauts-fourneaux). Le monoxyde de carbone est envoyé dans un fermenteur, qui met en œuvre la fermentation, un procédé biotechnologique, pour le transformer en éthanol, matière première de base pour de nombreuses synthèses de molécules. Dans le procédé ATOL, on déshydrate cet éthanol pour produire de l'éthylène, molécule de base du polymère polyéthylène,

largement utilisé pour la fabrication de bouteilles, tels les flacons utilisés par L'Oréal, partenaire du projet.

2.2.3. Les projets de Total pour améliorer la circularité

La Figure 8 présente deux projets très différents le domaine de la circularité.

Un premier projet consiste à utiliser le CO₂ provenant par exemple de procédés industriels comme matière première pour produire de nouveaux produits. Actuellement, les procédés les plus matures consistent à faire réagir du CO₂ avec de l'hydrogène pour faire des molécules de base et reconstruire des hydrocarbures : on utilise ensuite ceux-ci pour la synthèse soit de plastiques soit de carburants. Mais d'autres procédés apparaissent à

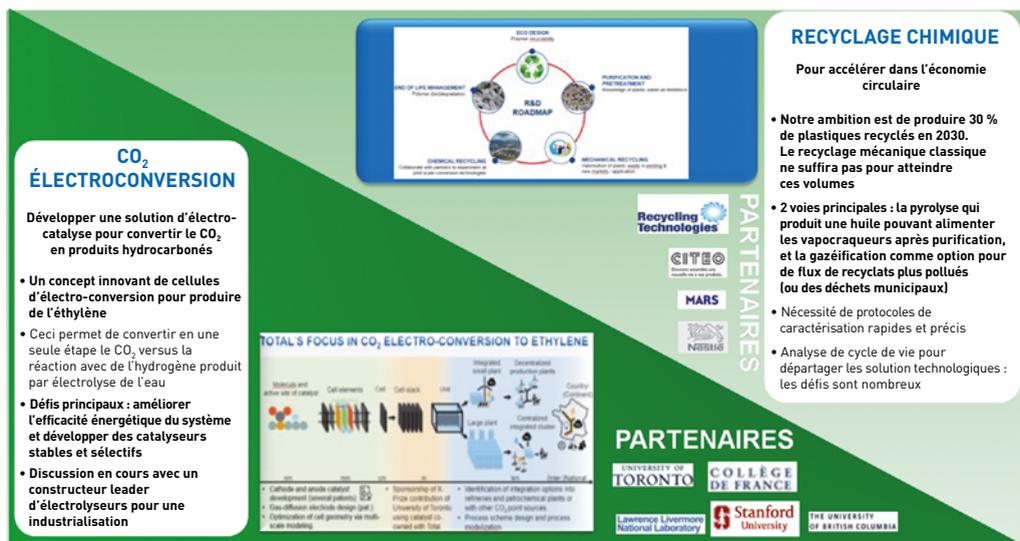


Figure 8

L'électroconversion du CO_2 et le recyclage chimique.

partir de l'électroconversion⁷. Ils permettent de retransformer le CO_2 en hydrocarbure sans passer par l'hydrogène gazeux, l'énergie nécessaire étant apportée par l'électricité. Un rôle important dans ces procédés est joué par les catalyseurs, qui permettent d'orienter la transformation du CO_2 vers certains produits.

Un projet dans lequel Total est actif actuellement est la conversion du CO_2 en éthylène, en étant plus orientés vers les plastiques que vers les carburants. Les partenaires sont l'Université de Stanford, l'Université de Toronto et le Collège de France. L'Université de Toronto a récemment mis au point un électrocatalyseur⁸ de

7. Électroconversion électrochimique : la réaction chimique est facilitée par l'apport d'électricité.

8. Électrocatalyseur : catalyseur qui participe aux réactions électrochimiques.

CO_2 en éthylène, qui est le plus gros au monde.

Un mot, enfin, sur le domaine du **recyclage chimique**. Total est un producteur de polymères et l'enjeu numéro 1 dans ce domaine est d'augmenter la part du recyclage. L'objectif de Total est de produire 30 % de polymères recyclés en 2030, ce qui est un accroissement considérable par rapport à la situation actuelle – environ une multiplication par cent de la part du recyclé dans les polymères. Deux voies techniques existent :

– la voie traditionnelle, déjà pratiquée depuis très longtemps, est appelée recyclage mécanique. Elle consiste à récupérer des objets les plus propres possibles, à les refondre et à en refaire de nouveaux objets en plastique. Le désavantage est que les propriétés mécaniques du polymère se dégradent fortement et qu'après un ou deux

recyclages, on a des produits de très mauvaise qualité ;

– la voie d'avenir est le recyclage chimique, dans lequel on casse les chaînes de polymères en les chauffant ou en les gazéifiant pour aboutir à une espèce de « pétrole synthétique », qui pourra être

purifié et réinjecté dans les raffineries pour donner naissance à de nouveaux polymères de qualité équivalente à un polymère vierge. De nombreux acteurs sont actuellement actifs sur ce domaine, dont on attend un accroissement important.

Transition énergétique, transition des compétences

Les six exemples de projets présentés dans ce chapitre donnent une idée de la nouvelle orientation de Total vers la neutralité carbone. La question stratégique qui se pose est : comment augmenter rapidement les efforts et les compétences dans un groupe qui a tout de même basé son succès et sa croissance sur la transformation du pétrole ?

L'enjeu critique d'aujourd'hui pour Total est en effet d'accompagner la transition des technologies d'une transition des compétences, par exemple des compétences actuelles vers des compétences de numériciens. Pour relever cet enjeu, le groupe s'est engagé dans une réorganisation de ses activités techniques en une nouvelle branche, appelée One Tech (*Figure 9*).



Figure 9

Le projet One Tech.

Il s'agit de créer une organisation centrale unique où seront réunies l'ensemble des compétences techniques actuellement réparties dans les différentes branches du groupe pour extraire et valoriser toutes les synergies possibles. Elle servira l'ensemble des ambitions du groupe dans la transition engagée. En donnant la possibilité aux ingénieurs de travailler dans les différents domaines sans être attachés spécifiquement à l'une des branches, elle optimisera l'efficacité technique de tous pour réussir la transition.

Cet important projet, qui concerne 3 400 personnes, sera mis en place dans le courant de l'été 2021. C'est un élément fort de la transition stratégique en cours chez Total.