

## **EXAMEN PROFESSIONNEL DE PROMOTION INTERNE D'INGÉNIEUR TERRITORIAL**

**SESSION 2020**

### **ÉPREUVE DE PROJET OU ÉTUDE**

#### **ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ :**

**L'établissement d'un projet ou étude portant sur l'une des options, choisie par le candidat lors de son inscription.**

Durée : 4 heures  
Coefficient : 5

**SPÉCIALITÉ : PREVENTION ET GESTION DES RISQUES**

**OPTION : DÉCHETS, ASSAINISSEMENT**

#### **À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :**

- Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif dans votre copie, ni votre nom ou un nom fictif, ni initiales, ni votre numéro de convocation, ni le nom de votre collectivité employeur, de la commune où vous résidez ou du lieu de la salle d'examen où vous composez, ni nom de collectivité fictif non indiqué dans le sujet, ni signature ou paraphe.
- Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez impérativement utiliser une seule et même couleur non effaçable pour écrire et/ou souligner. Seule l'encre noire ou l'encre bleue est autorisée. L'utilisation de plus d'une couleur, d'une couleur non autorisée, d'un surlieur pourra être considérée comme un signe distinctif.
- Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

**Ce sujet comprend 45 pages**

**Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend**

**le nombre de pages indiqué.**

*S'il est incomplet, en avertir le surveillant*

- ♦ Vous répondrez aux questions suivantes dans l'ordre qui vous convient, en indiquant impérativement leur numéro.
- ♦ Vous répondrez aux questions à l'aide des documents et de vos connaissances.
- ♦ Des réponses rédigées sont attendues et peuvent être accompagnées si besoin de tableaux, graphiques, schémas...

Vous êtes ingénieur, chargé de mission auprès du Directeur général des services techniques au sein de la métropole « Métropole Territoires Durables » (MTD). MTD est constituée de 28 communes et représente un bassin de 750 000 habitants.

Sur le plan de l'assainissement, MTD assure la maîtrise d'ouvrage des installations du service public de l'assainissement (réseaux et 4 stations d'épuration). En 2018, les 6 stations d'épuration ont eu des rejets conformes. Les analyses agronomiques des boues ont permis une valorisation agricole. MTD a délégué l'exploitation du service public de l'assainissement collectif des eaux usées sur le territoire métropolitain, dans le cadre d'un contrat d'affermage, à une société privée en 2018.

Sur le plan de la gestion des déchets ménagers, en 2018, MTD a collecté 192 911 tonnes d'ordures ménagères et 57 765 tonnes de collectes sélectives multimatériaux. MTD assure le traitement des déchets ménagers au sein de son centre de traitement multifilière, créé en 1998, composé d'une Unité de Valorisation Énergétique (UVE) dimensionnée pour le traitement de 350 000 tonnes d'ordures ménagères et d'un centre de tri de collectes sélectives multimatériaux de 60 000 tonnes par an. L'UVE traite également les ordures ménagères de la Communauté d'Agglomération voisine, AggloVerte, à hauteur de 150 000 t/an.

Les deux installations de traitement ont fait l'objet de travaux de modernisation et sont en conformité avec les exigences législatives et réglementaires actuelles. MTD a confié l'exploitation du centre de traitement multifilière à une autre entreprise privée en 2015 dans le cadre d'un marché public de fournitures et de services pour une durée de 7 ans.

Plus globalement MTD est engagée dans une démarche vertueuse pour l'environnement et la qualité de vie. Ainsi, MTD a élaboré avec les acteurs publics et privés du secteur tertiaire une charte d'engagement climat-énergie. Elle a également réalisé une étude visant à identifier l'opportunité de synergies énergétiques avec AggloVerte. Les efforts de MTD en matière de développement durable ont été reconnus puisque la collectivité fait partie des lauréats de l'Appel à Manifestation d'Intérêts « Territoires d'innovation de grande ambition » du Programme d'investissements d'avenir.

Dans ce contexte de recherche d'exemplarité, d'innovation et de performance environnementale, dans l'objectif de lutter contre le réchauffement climatique, MTD s'engage dans une démarche globale de diminution de l'impact carbone de la collectivité. Le Directeur général des services vous désigne chef de projet pour la partie en lien avec le traitement des déchets ménagers et l'assainissement. Il vous demande plus précisément de travailler sur les rejets de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

En effet, le CO<sub>2</sub> est le gaz à effet de serre le plus répandu dans les émissions de la filière incinération. Ce secteur d'activité figure d'ailleurs parmi les cinq premiers secteurs industriels émetteurs de CO<sub>2</sub> en France. Il représente en effet environ 4% des émissions totales. A ce jour, les technologies de captage en postcombustion étudiées et exploitées pour des industriels équipés de fours de combustion se basent essentiellement sur une séquestration du CO<sub>2</sub> à l'aide de solvants chimiques qui utilisent des procédés de traitement et de régénération coûteux. Par ailleurs, le CO<sub>2</sub> ainsi récupéré est un produit de très basse valeur

marchande vu les réglementations contraignantes d'utilisation du CO<sub>2</sub>. L'intérêt de la mise en œuvre de ces technologies n'est à l'heure actuelle pas avéré pour la compétitivité des exploitations. En outre, le bilan matière de ces procédés pose des problématiques environnementales de taille (dégradation, émissions d'aérosols toxiques, corrosivité, sensibilité aux contaminants). Ces barrières freinent aujourd'hui le déploiement de technologies de captage de CO<sub>2</sub> pour les usines d'incinération.

Le Directeur général des services techniques vous demande de répondre aux questions suivantes :

#### **Question 1 (6 points)**

Dans une note synthétique à son attention, vous indiquerez les enjeux du développement des technologies environnementales au regard de la situation relative au changement climatique. Vous y aborderez en outre les potentialités offertes par les organismes photosynthétiques et le principe de la séquestration du dioxyde de carbone par les micro algues, en précisant les éventuelles difficultés et limites de ces technologies.

#### **Question 2 (6 points)**

Vous présenterez le projet visant au captage et à la valorisation de carbone présent dans les fumées d'incinération via un procédé industriel pour la production d'un biomatériau.

Vous justifierez le recours à une démarche d'innovation ou de recherche et développement pour la collectivité et vous présenterez les principes et éléments clefs du projet. Vous préciserez les caractéristiques de la solution recherchée, l'approche du projet et les résultats attendus.

Vous présenterez également l'ensemble des acteurs concernés par ce projet.

#### **Question 3 (3 points)**

Vous prévoirez la planification et le phasage du projet technique. Vous préciserez la durée du projet et les étapes clefs de sa réalisation.

Vous préciserez les livrables attendus au terme de chaque étape et les objectifs visés.

#### **Question 4 (5 points)**

Vous réaliserez une note de présentation du marché pour la réalisation du projet.

Dans ce cadre, vous qualifierez le marché proposé (partenariat d'innovation, marché de recherche et développement...) pour la réalisation du projet et justifierez le recours à ce type de marché. Vous préciserez les caractéristiques de la solution recherchée ainsi que les objectifs du marché.

#### **Liste des documents :**

**Document 1 :** « Présentation du puits de carbone. Usine Seine centre Colombes »  
- SIAAP - 5 pages

**Document 2 :** « Guide pratique achat public innovant » (extraits) - *Ministère de l'économie et des finances. Observatoire économique de la commande publique* - mai 2019 - 12 pages

- Document 3 :** « Chiffres clés du climat. France, Europe et Monde » (extraits) - *Commissariat général au développement durable* - 2019 - 9 pages
- Document 4 :** « Capture et séquestration du carbone : une solution qui peine à se concrétiser » - *Climate chance* - 2018 - 8 pages
- Document 5 :** « Qualité de l'air : micro-algues et innovation au service des collectivités locales et des citoyens » - *suez.toutsurmesservices.fr* - 2 mai 2019 - 1 page
- Document 6 :** « Quand l'air pollué se transforme en énergie propre » - *ladepeche.fr* - 11 juillet 2018 - 2 pages
- Document 7 :** « Biomasse, énergie et produits biosourcés. Recueil de projets de R&D » (extraits) - *ADEME* - mars 2017 - 2 pages

**Documents reproduits avec l'autorisation du C.F.C.**

*Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.*



(Usine Seine centre  
Colombes)

## 1 /

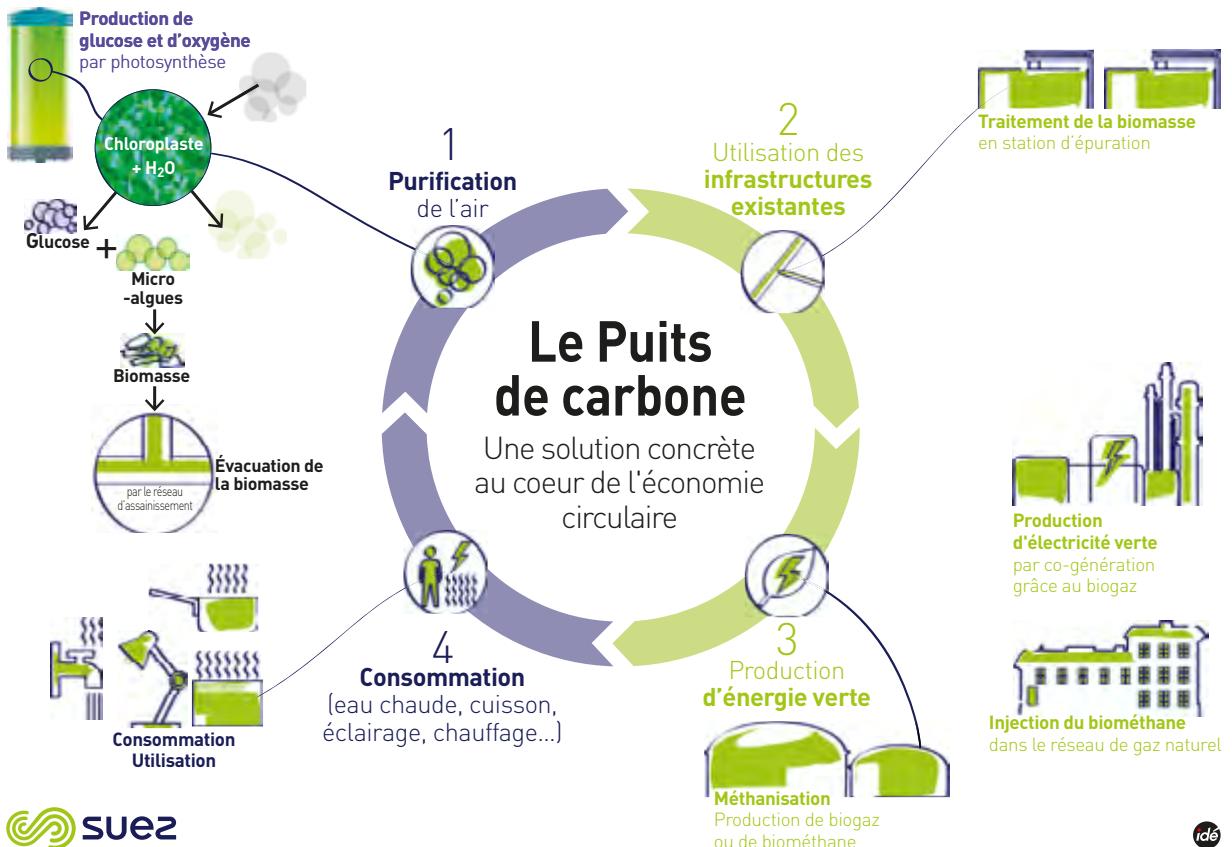
### LE PUITS DE CARBONE : UN PROJET INNOVANT

Installé sur le site de l'usine de Colombes, le Puits de carbone expérimental a pour but de lutter contre le changement climatique en captant le CO<sub>2</sub> issu des fumées des fours de l'usine pour le transformer en énergie verte. Pour la première fois, ce procédé est testé en grandeur nature en milieu industriel.

### DOCUMENT 1

#### UNE EXPÉRIMENTATION QUI S'INSCRIT DANS LE PLAN STRATÉGIQUE «SIAAP 2030»

L'expérimentation de ce Puits de carbone s'inscrit dans le plan stratégique SIAAP 2030 qui définit les orientations majeures du Syndicat pour l'avenir. Une démarche déclinée en quatre axes stratégiques, qui vise à répondre aux grands enjeux des vingt prochaines années. Plus que jamais, les contraintes liées au changement climatique, à la transition énergétique et à l'économie circulaire vont conduire à considérer les eaux usées comme des ressources, et l'assainissement comme une voie de recyclage des sous-produits de l'activité humaine. Pour contribuer à un développement durable de l'agglomération parisienne, le SIAAP multiplie ainsi les recherches et les expérimentations dans le but d'économiser et de valoriser ses ressources sans perdre de vue sa mission première : la préservation de la Seine et du milieu naturel en générant la plus faible empreinte environnementale possible. Acteur engagé du développement durable, le SIAAP entend limiter l'émission de gaz à effet de serre. L'expérimentation de ce Puits de carbone participe ainsi à la transition énergétique dans une économie circulaire à l'échelle du territoire du SIAAP.



## COMMENT FONCTIONNE CE PUITS DE CARBONE ?

1. Dans une colonne remplie d'eau, des microalgues, qui ont la capacité de fixer le CO<sub>2</sub>, sont mises en culture. Par photosynthèse, ces microalgues unicellulaires captent le CO<sub>2</sub> contenu dans les fumées des fours d'incinération de l'usine de Colombes. Le carbone est alors transformé en biomasse.
2. Dans le Puits de carbone, les microalgues se multiplient en continu, et forment ainsi une biomasse régulièrement évacuée via le réseau d'assainissement jusqu'à une station d'épuration.
3. Cette biomasse, qui constitue un apport carboné pour la station d'épuration, est ensuite transformée en énergie verte. Le but de l'opération est d'augmenter le pouvoir méthanogène des boues et donc d'augmenter la production de biogaz.
4. Au final, ce biogaz peut être transformé en biométhane et valorisé par la suite.

## UNE BATTERIE DE TESTS AFIN D'OPTIMISER LE FONCTIONNEMENT DU PUITS DE CARBONE

Déjà testées en laboratoire, les conditions optimales de fonctionnement du Puits de carbone ne l'ont pas encore été en grandeur nature. Quel est l'impact du Puits de carbone sur les micropolluants de l'air? Quelles quantités de biomasse et d'oxygène ce procédé peut-il produire? Quel est le pouvoir méthanogène de la biomasse produite par les microalgues? Comment affiner les réglages en cas de fortes concentrations en CO<sub>2</sub>? Pendant plus de 6 mois, des tests vont être réalisés par paliers afin d'étudier plus précisément deux paramètres. La luminosité tout d'abord, qui influe énormément sur le fonctionnement du Puits de carbone en favorisant la photosynthèse. En fonction de la concentration en CO<sub>2</sub>, le Puits a plus ou moins besoin de lumière pour fonctionner de façon optimale. En théorie, plus la concentration en CO<sub>2</sub> est élevée, plus la source lumineuse doit être forte. Deuxième paramètre à tester : l'apport en nutriments. Pour se développer, les microalgues ont besoin de sources azotées que l'on peut ajouter dans la colonne. Quelles quantités de nutriments sont nécessaires pour que les microalgues se dupliquent au mieux? Enfin, plusieurs souches d'algues vont être étudiées afin d'observer la façon dont elles réagissent en fonction des conditions (pH, températures, luminosité, etc).

## LE BIOGAZ, UNE ÉNERGIE D'AVENIR

La loi relative à la transition énergétique pour une croissance verte fixe un objectif de 10% de biogaz dans la consommation française de gaz en 2030. L'objectif est d'atteindre 30 milliards de kWh de production en 2030 sur un gisement potentiel de 56 milliards de kWh, soit la consommation de 3 millions de foyers. Issu des stations d'épuration, des déchets organiques et des exploitations agricoles, le biogaz représente un gisement d'énergie renouvelable qui ne demande qu'à être exploité. Dès 2012, le SIAAP, premier producteur de biogaz en France, a senti qu'il y avait une opportunité à saisir. Produit à partir du biogaz, le biométhane est, en effet, un biocarburant propre, une énergie renouvelable produite localement qui participe à la réduction des gaz à effet de serre. Avec le Puits de carbone installé dans l'usine de Colombes, le SIAAP marque ainsi son engagement dans la lutte contre le changement climatique et le développement d'une économie circulaire locale.

*Le pilote installé  
dans l'usine de Colombes  
peut capter 1 tonne  
de CO<sub>2</sub> par an,  
ce qui équivaut à :*

**1 aller-retour en avion  
Paris - Washington (USA)  
pour 1 personne**

**ou 5560 km  
en Renault Clio Essence**

**ou la séquestration annuelle  
de CO<sub>2</sub> d'une centaine  
d'arbres**

**ou la consommation électrique  
en chauffage d'un foyer  
(environ 3 000 kWh)**

## LE CALENDRIER DE CETTE EXPÉRIMENTATION

- **décembre 2015** : présentation du pilote lors de la COP 21.
- **avril 2016** : signature d'une convention de collaboration de recherche entre le SIAAP et SUEZ pour expérimenter un procédé de fixation du gaz carbonique de l'air, de l'air de combustion et de production d'énergie renouvelable.
- **décembre 2016** : installation du pilote dans l'usine de Colombes.
- **de janvier à juin 2017** : 6 mois de tests au minimum vont permettre d'affiner les réglages et donc d'optimiser le fonctionnement du Puits de carbone.

# 2/

## LE SIAAP, ACTEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Le SIAAP s'attache à réduire son empreinte carbone et à optimiser sa consommation d'énergie, tout en valorisant les déchets issus du traitement des eaux usées. Une démarche entreprise depuis des années qui se traduit par de nombreuses réalisations et projets de recherche innovants.

### MESURER L'IMPACT DE L'ACTIVITÉ EN ÉVALUANT LA PRODUCTION DE GAZ À EFFET DE SERRE

En 2010, la Direction Santé et Environnement (DSE) du SIAAP a mis au point son propre outil d'analyse. Baptisé EGESS (Évaluation des Gaz à Effet de Serre du SIAAP), il permet de mesurer l'impact de l'activité du SIAAP et de ses projets futurs sur l'environnement. Il s'agit d'un suivi régulier, homogène et annuel des émissions de gaz à effet de serre produites sur tous les sites. Le SIAAP utilise cet outil d'aide à la décision dans le cadre des évolutions réglementaires, ou dans le choix des entreprises candidates aux marchés publics. La production globale des gaz à effet de serre émis par le SIAAP va dans le bon sens : elle est en constante diminution ces dernières années.

### SEINE AMONT TESTE LA PRODUCTION DE BIOGNL

C'est une première mondiale. Depuis 2015, le pilote BioGNVAL installé sur le site de l'usine de Seine amont valorise le biogaz issu du traitement des eaux usées en le transformant en une énergie renouvelable et facilement stockable : le biométhane liquide

(BioGNL), un nouveau carburant propre très prometteur. Cette expérimentation a pour but de démontrer la faisabilité technique et économique de la production de BioGNL à grande échelle et mettre en évidence le bilan environnemental de la production de BioGNL par rapport à l'utilisation d'énergies fossiles. Site vitrine, BioGNVAL joue aussi un rôle de premier plan pour promouvoir l'usage du biométhane comme carburant pour véhicules, notamment pour les poids lourds longue distance (plus de 800 km). Avec ce projet très novateur, le SIAAP espère stocker ce biocarburant dans un volume limité afin de faire fonctionner des équipements de Seine amont, comme les groupes électrogènes par exemple. Autre objectif : épurer le biogaz afin de pouvoir l'injecter dans le réseau GRDF ou le stocker plus facilement sur le site de l'usine en cas d'indisponibilité du réseau. À l'horizon 2030, BioGNVAL devrait produire 1,1 TWh de carburants et atteindre une économie carbone de 770 000 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an.

### SIAAP/SYCTOM, UN PROJET COMMUN DE MÉTHANISATION À L'HORIZON 2018

Deux services publics, premiers opérateurs publics en Europe, l'un pour le traitement des déchets, l'autre pour l'assainissement, unis vers un même objectif : mener des projets de co-méthanisation boues/déchets sur des sites du SIAAP disposant de digesteurs. Cette démarche commune et inédite de Recherche et Développement vise à méthaniser à grande échelle et dans un même équipement à la fois des boues de stations d'épuration, et la fraction organique issue des ordures ménagères résiduelles. Une fois épuré, le biogaz produit pourrait être injecté dans le réseau de gaz naturel ou utilisé et valorisé sur le site industriel pour réduire l'apport d'énergie externe. Afin d'étudier et de valider la faisabilité de ce projet, le SIAAP et le Syctom se sont orientés vers une procédure de marché public d'un nouveau genre : le partenariat d'innovation. Ils entendent ainsi engager un partenariat sur le long terme avec un ou plusieurs groupements d'entreprises. Lancé fin 2016, cet appel d'offres doit aboutir fin 2017 à l'attribution d'un ou de plusieurs groupements. Les travaux de recherche devraient être menés au cours du premier semestre 2018. Après l'examen des résultats, la mise en œuvre du pilote industriel est prévue pour le second semestre 2018. Pour ce projet innovant de grande ampleur, le SIAAP et le Syctom ont dégagé un budget conséquent : 90 millions d'euros.

## **SEINE AVAL RÉDUIT SA CONSOMMATION DE GAZ NATUREL**

En réutilisant le biogaz produit sur son site, Seine aval a réussi à considérablement limiter le recours au gaz naturel et donc réduire ses émissions de gaz à effet de serre. 62,5 % des besoins énergétiques de l'usine sont autoproduits à partir de la valorisation du biogaz. Aujourd'hui, le gaz naturel ne représente plus que 1,9 % de l'énergie totale consommée à Seine aval. Pour parvenir à ce résultat, l'usine optimise quotidiennement les réglages des turbines et des chaudières de l'unité de production de biogaz.

## **IDENTIFIER LES GISEMENTS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE**

Depuis 2014, le SIAAP identifie les gisements d'économies d'énergie sur l'ensemble de ses sites et usines. L'installation d'équipements moins énergivores (démarreurs et variateurs de vitesse sur les pompes de relevage des eaux, par exemple) peut en effet donner droit à des Certificats d'Économie d'Énergie (CEE) que le SIAAP peut céder à un fournisseur d'énergie moyennant finances.

## **SEINE GRÉSILLONS ADOpte LA COGÉNÉRATION**

A Seine Grésillons, deux moteurs de cogénération produisent de l'électricité et de la chaleur à partir du biogaz issu de la digestion des boues. L'usine récupère ainsi les calories pour chauffer une partie des bâtiments et des process, et alimente en électricité le réseau ERDF auquel elle est raccordée.



## **À propos du SIAAP**

Le SIAAP (Service public de l'assainissement francilien) dépollue chaque jour les eaux usées de près de 9 millions de Franciliens, ainsi que les eaux pluviales et industrielles, pour rendre à la Seine et à la Marne une eau propice au développement du milieu naturel. Avec ses 1700 agents, le SIAAP dépollue 7j/7, 24h/24, près de 2,5 millions de m<sup>3</sup> d'eau, transportés par 440 km d'émissaires et traités par ses 6 usines d'épuration.

# GUIDE PRATIQUE ACHAT PUBLIC INNOVANT

## 4. CONTRACTUALISATION AU SERVICE DE L'ACHAT INNOVANT

Il existe différentes procédures ou techniques d'achat, des plus courantes au plus spécialisées, permettant d'intégrer l'innovation dans la commande publique (cf. [diagramme en annexe](#)).

Le choix de procédure ne doit pas être guidé par des considérations de simplicité ou de temporalité (ex : négociation plus difficile et/ou plus longue qu'un appel d'offres), mais par la **nature du besoin et la disponibilité ou non des moyens de le satisfaire**.

Les questions de calendrier trouvent bien souvent une source de traitement dans la planification des achats.

### ACHATS DE R&D

#### L'EXCLUSION DES MARCHES DE R&D DU CHAMP D'APPLICATION DU CODE DE LA COMMANDE PUBLIQUE

Les travaux de recherche et développement ont été définis et codifiés par l'OCDE, chargée d'assurer la comparabilité des informations entre les pays membres de l'organisation, dans le [Manuel de Frascati](#) paru en 2002.



Le code de la commande publique en donne désormais lui-même une définition en son article L. 2512-5 : « *la recherche et développement regroupe l'ensemble des activités relevant de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée et du développement expérimental, y compris la réalisation de démonstrateurs technologiques et à l'exception de la réalisation et de la qualification de prototypes de pré-production, de l'outillage et de l'ingénierie industrielle, de la conception industrielle et de la fabrication* ».

Ces activités sont exclues du champ d'application du code, ce qui s'explique notamment par la volonté d'encourager le cofinancement de programmes de recherche et développement provenant de sources industrielles<sup>30</sup>.

Ainsi, les marchés de services portant sur des projets de R&D peuvent être **passés de gré à gré**, sous deux conditions alternatives d'interprétation stricte :

- si le pouvoir adjudicateur ne finance que partiellement le programme (partage du coût financier des études à réaliser) ; ou
- s'il n'acquiert pas la propriété exclusive des résultats du programme (partage des droits de propriété intellectuelle).

Cette exclusion ne s'applique qu'aux programmes qui portent sur des projets de R&D **sans prolongement industriel direct**. Elle ne couvre donc pas les programmes qui prévoient la réalisation et la qualification de prototypes de pré-production, de l'outillage et l'ingénierie industrielle, de la conception industrielle et de la fabrication, c'est-à-dire ceux dont la finalité précède immédiatement la mise en industrie.



Dans le cas où une entreprise innovante démarcherait une personne publique pour co-développer un procédé qu'elle a conçu, la personne publique pourrait certes passer un marché de services de R&D avec cette entreprise en respectant les conditions mentionnées *supra*, cependant, elle ne pourrait pas acheter le procédé une fois développé, sans remise en concurrence<sup>31</sup>.

La **remise en concurrence à l'issue du processus de recherche** peut être difficile à justifier auprès du partenaire, qui a investi pour développer une solution correspondant aux souhaits de la personne publique, et qui peut

<sup>30</sup> Directive 2014/24/UE, précitée, considérant 35 : « *Le cofinancement de programmes de recherche et développement (R&D) provenant de sources industrielles devrait être encouragé. Par conséquent, il y a lieu de préciser que la présente directive ne s'applique qu'en l'absence d'un tel cofinancement et lorsque les résultats des activités de R&D reviennent au pouvoir adjudicateur concerné (...).* »

<sup>31</sup> Sauf à entrer dans le champ expérimental du décret n° 2018-1225 du 24 décembre 2018

croire que le fruit de son travail soit porté à la connaissance de concurrents éventuels, réduisant ainsi l'avantage compétitif qu'il a acquis en prenant le risque d'innover.

Il est donc primordial de s'interroger dès le démarrage du projet sur sa finalité : soutenir le développement d'une solution avec ou sans acquisition à l'issue ?

Afin d'associer le cas échéant la R&D et l'achat d'une solution innovante, un nouveau contrat a été instauré : le partenariat d'innovation, mais son usage doit avoir été anticipé (cf. [partie dédiée](#)).

## LE DEVELOPPEMENT DES ACHATS PUBLICS AVANT COMMERCIALISATION A L'ECHELLE EUROPEENNE

Dans le cadre du programme d'innovation [Horizon 2020](#), la Commission européenne a développé une distinction entre :

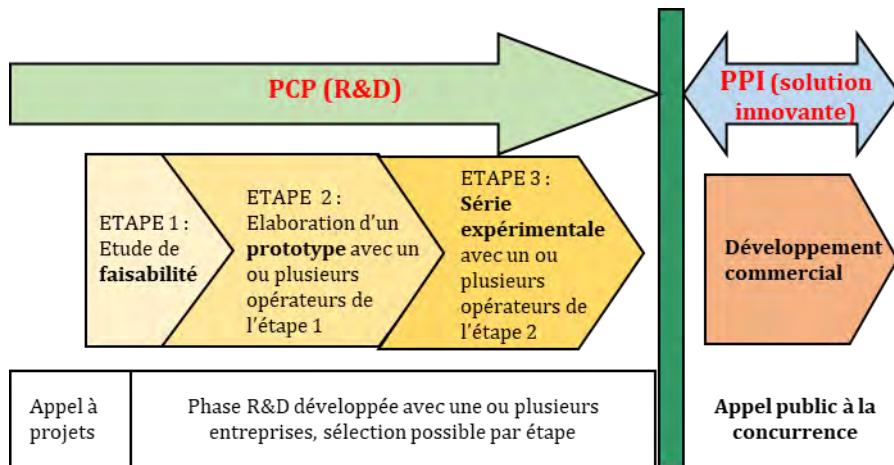
- **achat public avant commercialisation** (« *pre-commercial procurement* » ou **PCP**) ;
- **achat public de solutions innovantes** (« *public procurement of innovation* » européen ou **PPI**).

Le dispositif des PCP repose sur un développement par phases :

- la personne publique lance un appel à projet pour la réalisation d'une étude de faisabilité ;
- elle retient plusieurs opérateurs et les rémunère pour la réalisation des services de R&D ;
- en fonction des résultats atteints, elle peut commander à certaines entreprises un prototype ;
- elle commande la réalisation d'une série expérimentale, pour vérifier de la capacité de production en série.

A condition que le prix payé par la personne publique pour l'acquisition du service de R&D soit celui du marché et qu'un minimum de mise en concurrence soit exercé, le recours aux PCP ne constitue pas une aide d'Etat prohibée par l'article 107 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne.

La personne publique n'acquiert pas les droits de propriété intellectuelle ; l'entreprise qui aura développé le produit reste propriétaire des droits et, par conséquent, libre de commercialiser le procédé.



Ce dispositif présente un double avantage : les acheteurs sont en contact étroit avec les acteurs du marché pour le développement de leurs propres besoins et les fournisseurs reçoivent plus rapidement des retours des clients sur leur potentiel innovant en conditions réelles.

Ainsi, les PCP permettent d'orienter la R&D vers l'émergence de solutions adaptées aux besoins du secteur public (sans toutefois garantir des commandes à l'issue) et de valider les procédés obtenus, tandis que les PPI permettent d'intervenir comme acheteur précoce de solutions justes parvenues à maturité commerciale et peuvent prendre la forme de l'une ou l'autre des procédures de marché développées ci-après.

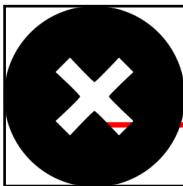


Décris à l'article L. 2124-2 du CCP comme « *la procédure par laquelle l'acheteur choisit l'offre économiquement la plus avantageuse, sans négociation, sur la base de critères objectifs préalablement portés à la connaissance des candidats* », l'appel d'offres constitue la procédure formalisée la plus utilisée.

Bien que formalisée et limitant les modalités d'échanges entre les acheteurs et les entreprises, cette procédure n'est pas défavorable en soi à l'intégration de l'innovation, dès lors qu'elle reste suffisamment « ouverte » grâce à l'emploi des différents outils décrits tout au long du guide et synthétisés ci-après.

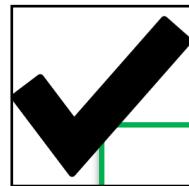
Les présents développements n'ont pas tant pour objet de détailler cette procédure, que de faire des préconisations issues de la réflexion entre acheteurs et avec des opérateurs économiques.

Ces préconisations sont présentées ici car elles trouvent un écho particulier en appel d'offres, dont le fonctionnement n'offre pas de réajustement possible, *a contrario* des procédures mettant en œuvre une certaine négociation ou une discussion avec les soumissionnaires. Dans ce cadre, la pratique du sourcing est d'autant plus importante pour consolider l'expression du besoin que le cahier des charges n'est plus susceptible de variation après publication.



A éviter !

- Ne pas réaliser de sourcing (même allégé) en amont de la procédure
- Rédiger un cahier des charges trop descriptif, y compris sur les moyens/procédés à mettre en place pour répondre au besoin
- Laisser des délais minimaux de réponse aux entreprises (candidatures et/ou offres)
- Ne pas autoriser les variantes (ou bien exiger également le dépôt d'une offre de base concomitante)
- Attribuer une prépondérance au prix parmi les critères d'attribution
- Prévoir et appliquer des pénalités importantes sans mise en oeuvre d'un pilotage partenarial de l'exécution du marché (prise en compte des contraintes réciproques)



A promouvoir !

- Réaliser un sourcing permettant de corroborer les exigences de l'acheteur avec la capacité du marché et d'intégrer de l'innovation
- Rédiger un cahier des charges fonctionnel, en termes d'exigences, d'objectifs et de performance
- Adapter les délais de réponse à la complexité de la solution et/ou à la nécessité pour les entreprises de se grouper
- Autoriser les variantes (sans exiger une offre de base)
- Pondérer les différents critères de sélection, en attribuant une part importante à la valeur technique et au coût global de la solution
- Prévoir des pénalités adaptées et des clauses incitatives, qui favorisent la performance du titulaire tout au long du marché

## PROCEDURES NEGOCIEES

A contrario des marchés à procédure adaptées, les procédures formalisées de passation des marchés publics laissaient classiquement peu de marge de négociation des offres. Cependant, la transposition des directives en 2016 a offert une **place plus large à la faculté pour les acheteurs de négocier**<sup>32</sup> et ainsi de mieux faire coïncider les besoins avec les solutions techniques proposées, y compris les plus innovantes.

Cette faculté de négociation est en outre renforcée par la mesure expérimentale qui dispense du respect du formalisme et des règles associées aux procédures classiques de marché public pour les achats innovants inférieurs à 100 000 € HT.

---

### EXPERIMENTATION : MARCHE SANS PUBLICITE NI MISE EN CONCURRENCE INFERIEUR A 100 000 € HT

Le [décret du 24 décembre 2018 portant diverses mesures relatives aux contrats de la commande publique](#) prévoit qu'à titre expérimental, pour une période de trois ans à compter de son entrée en vigueur (soit jusqu'au 25 décembre 2021), les acheteurs peuvent passer un marché public négocié sans publicité ni mise en concurrence préalables portant sur des travaux, fournitures ou services innovants répondant à un **besoin dont la valeur estimée est inférieure à 100 000 € HT**.

Cette procédure dérogatoire a pour objet de simplifier l'acquisition de solutions innovantes auprès de tous types d'entreprises, dans un contexte de **facilitation de la mise en relation entre les administrations et les entreprises innovantes**. Ces dernières peuvent en effet trouver l'accès à la commande publique et la réponse à des consultations complexes. Le risque est alors que le secteur public ait des difficultés à acquérir les dernières innovations disponibles, à cause d'un manque d'attractivité. 

Le décret ne pose que deux conditions pour passer un marché sans publicité ni mise en concurrence dans le cadre de l'expérimentation : l'achat doit être innovant et le montant du besoin doit être inférieur à 100 000 € HT<sup>33</sup>.

Comme pour les marchés inférieurs à 25 000 € HT, trois recommandations permettent de garantir que l'acheteur a effectué son achat de gré à gré « en bon gestionnaire » : Il doit veiller à choisir une offre pertinente, à faire une bonne utilisation des deniers publics et à ne pas contracter systématiquement avec un même opérateur économique lorsqu'il existe une pluralité d'offres susceptibles de répondre au besoin.



Afin de pouvoir justifier, en cas de contentieux, que son marché n'a pas été conclu en méconnaissance de ces principes, il est conseillé à l'acheteur de conserver une trace des **éléments ayant motivé sa décision**, notamment les démarches préalables effectuées afin d'apprécier le caractère innovant de son achat, dans le respect de la définition retenue par le code de la commande publique et, le cas échéant, à l'aide du [faisceau d'indices](#) applicable tout segment d'achat.

Dans cette perspective, le sourcing constitue un outil à privilégier. Il ne s'agit pas pour autant de réaliser une étude de marché exhaustive dont les délais de réalisation obéreraient l'efficacité de l'expérimentation et conduiraient les acheteurs à préférer une mise en concurrence préalable.

A l'issue de la procédure expérimentale, les acheteurs sont tenus de **déclarer ces achats à l'Observatoire économique de la commande publique**. En effet, afin de suivre l'impact de cette mesure expérimentale, l'OECP, en charge du recensement et de l'analyse économique des contrats de la commande publique, doit en effet établir un bilan dans les 6 mois précédant la fin de la période de 3 ans d'expérimentation. Il est donc essentiel que les acheteurs procèdent effectivement à cette déclaration, qui permettra d'alimenter le rapport et de tirer des enseignements de l'expérimentation, au regard de son effet d'entraînement notamment.

<sup>32</sup> Considérant 42 - directive n° 2014/24/UE : « *il est absolument nécessaire que les pouvoirs adjudicateurs disposent de plus de souplesse pour choisir une procédure de passation de marchés prévoyant des négociations* ».

<sup>33</sup> Consulter la [fiche DAJ dédiée à l'expérimentation « achats innovants »](#).

Cette obligation ne correspond pas à un contrôle a posteriori de l'opportunité de recourir à cette procédure, mais correspond à la nécessité de mesurer l'impact du dispositif afin de décider – à terme – de sa pérennisation ou de sa suppression.

En application du décret du 24 décembre 2018, l'arrêté du 26 décembre 2018 précise les modalités de déclaration des achats innovants passés sans publicité ni mise en concurrence préalables au titre du recensement des contrats de la commande publique.

Afin de satisfaire à cette obligation applicable aux marchés d'un montant égal ou supérieur à 25 000 € HT et inférieur à 100 000 € HT, les acheteurs doivent ajouter la mention « procédure expérimentale innovation » dans la rubrique « Commentaires » de la **fiche de recensement économique** de l'achat public qu'ils doivent établir pour chacun de ces marchés.

Pour les acheteurs de l'Etat, la déclaration est effectuée à l'occasion de la saisie CHORUS. Pour tous les autres acheteurs, il convient de se connecter à l'outil REAP.

Pour plus de détails, se référer au [guide du recensement économique des contrats de la commande publique](#).

Ecran de saisie REAP : <https://www.reap.economie.gouv.fr/reap/servlet/authentificationAcheteur.html>

Recueil des données de recensement > Recensement Général > Saisie d'un marché

**Données**

Identifiant du contrat 2019 - 0015416 - 00 - 00

Mois et année de notification du contrat 01 / 2019

Numéro SIRET (N° SIREN + N° NIC) de l'acheteur public\* 120000098 00020

Mode d'exécution du contrat

Nature de l'acte juridique

Objet principal du contrat : code CPV

Code CPV secondaire 1

Code CPV secondaire 2

Code CPV secondaire 3

Procédure

Montant HT du contrat

Durée en mois du contrat

Forme des prix

Numéro SIRET (N° SIREN + N° NIC) du titulaire ou du mandataire

OU code pays

En cas de groupement : nombre d'entreprises groupées

Type de groupement d'entreprises

Numéro SIREN du co-titulaire 1

OU code pays

Numéro SIREN du co-titulaire 2

OU code pays

Numéro SIREN du co-titulaire 3

OU code pays

Sous-traitance déclarée (à la passation du marché)  oui  non

Le contrat permet-il l'utilisation de la carte achat ?  oui  non

Le contrat met-il en œuvre une clause sociale ?  oui  non

Le contrat met-il en œuvre une clause environnementale?  oui  non

Nombre total de propositions reçues

Nombre total propositions dématérialisées

Commentaires :

CCAG de rattachement du contrat



## MARCHES A PROCEDURE ADAPTEE (MAPA)

Les MAPA constituent la majorité des procédures de marchés publics et revêtent donc une certaine importance pour la diffusion de l'innovation dans la commande publique. Ce phénomène est d'autant plus vrai que les MAPA, de par leur nature flexible, permettent de **tester des solutions innovantes** et/ou de les acheter en petite quantité.

 Selon l'article R. 2123-4 du CCP, les MAPA sont les marchés qui, en raison de leur montant ou de leur objet, peuvent faire l'objet de **modalités de procédure librement choisies** en fonction de la nature et des caractéristiques du besoin à satisfaire, du nombre ou de la localisation des opérateurs économiques susceptibles d'y répondre ainsi que des circonstances de l'achat.

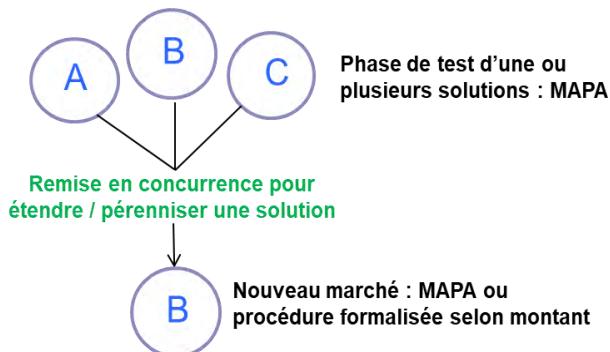
Pour les achats inférieurs à 25 000 € HT, l'acheteur est dispensé des obligations de publicité et de mise en concurrence, mais doit veiller à assurer une utilisation optimale des deniers publics, en sollicitant dans la mesure du possible différents prestataires (demande de devis ou consultation de catalogues en ligne, par exemple).

Pour les achats d'un montant supérieur à 25 000 € HT, l'acheteur doit formuler par écrit son besoin ainsi que les règles principales de la consultation (ex : critères de sélection...) et en assurer une publicité proportionnée à l'enjeu du marché (ex : profil d'acheteur, journal d'annonce légal, BOAMP...).

Les MAPA offrent ainsi une souplesse procédurale aux acheteurs, qui peuvent **négocier les offres tant sur le plan financier que qualitatif**, dès lors qu'ils ont annoncé cette possibilité dès le départ.

Leur attention est cependant appelée sur les préconisations formulées *supra* et, en particulier sur les points suivants : penser le besoin de façon fonctionnelle, autoriser les variantes, laisser le temps nécessaire aux opérateurs pour formuler une réponse bien construite, ne pas focaliser les négociations sur le seul aspect prix.

Dans ce cadre, une collectivité publique ayant repéré une solution innovante susceptible de répondre à ses besoins pourrait en faire l'acquisition ou bien l'expérimenter à petite échelle. Si le test s'avère concluant et qu'il est envisagé de généraliser la solution, une nouvelle procédure de marché devra être lancée avec mise en concurrence (à anticiper dès l'expérimentation de la solution avec l'entreprise).



## PROCEDURE AVEC NEGOCIATION

 Selon l'article L. 2124-3 du code de la commande publique (CCP), « *la procédure avec négociation est la procédure par laquelle l'acheteur négocie les conditions du marché avec un ou plusieurs opérateurs économiques* ».

Dans cette optique, l'acheteur – qui connaît son besoin et les moyens susceptibles d'y répondre – souhaite négocier afin d'**améliorer le contenu des offres successives** (à l'exception des offres finales), étant précisé que les exigences techniques minimales, ainsi que les critères d'attribution définis dans les documents de la consultation, ne font pas l'objet de négociation.

Les conditions de recours à cette procédure, communes au dialogue compétitif, sont les suivantes<sup>34</sup> :

- lorsque le besoin ne peut être satisfait sans adapter des solutions immédiatement disponibles ;
- lorsque le besoin consiste en une solution innovante ;
- lorsque le marché comporte des prestations de conception ;
- lorsque le marché ne peut être attribué sans négociation préalable du fait de circonstances particulières liées à sa nature, à sa complexité ou au montage juridique et financier ou en raison des risques qui s'y rattachent ;
- lorsque l'acheteur n'est pas en mesure de définir les spécifications techniques avec une précision suffisante en se référant à une norme (...) ;
- lorsque, dans un appel d'offres, seules des offres irrégulières ou inacceptables ont été présentées (...).

A la lecture des cas de recours et de la définition générale de la procédure avec négociation, il semble que celle-ci puisse être considérée comme la **voie privilégiée pour les achats d'innovation**. En effet, l'usage de cette procédure est désormais possible dans tous les cas où le besoin ne peut pas être satisfait sans adapter des solutions immédiatement disponibles ou dès lors que le besoin concerne une solution innovante, sans restriction liée à l'incapacité de définir les solutions techniques adéquates (comme pour le dialogue compétitif).



Cependant, lorsque les travaux, produits ou services sont déjà disponibles (« sur étagère ») et répandues, ils ne se prêtent pas au recours à cette procédure.

Une bonne préparation doit permettre d'éviter certains risques propres à la négociation (finalisation du besoin en cours de procédure, atteinte au secret des affaires, marchandage du prix, dérives calendaires, etc.), notamment par le recours à la **collégialité et à la traçabilité des échanges**, proportionnées à l'enjeu du marché.

La communication d'une liste identique de thématiques adressée à l'ensemble des candidats, l'utilisation de comptes rendus ou l'établissement d'une grille de négociation - comprenant des aspects techniques - peuvent s'avérer utiles, afin de faciliter le suivi et le choix final. Ces éléments permettront en outre de garantir une certaine égalité de traitement des candidats.

L'**éventuelle limitation du nombre de tours** de négociation et son indication dans les documents de la consultation relèvent de la liberté de l'acheteur, de la procédure considérée, du niveau des offres dès le premier tour, etc. L'essentiel est de ne pas perdre de vue le souci de maîtrise des plans de charges respectifs (et le coût induit pour les entreprises participantes).

Une bonne pratique peut cependant consister à annoncer aux candidats le dernier tour, afin de leur permettre de consolider leur proposition en connaissance de cause.

L'acheteur peut aussi se réservé la possibilité d'attribuer le marché public sur la base des offres initiales sans négociation, à condition de l'avoir prévu initialement. Cependant, le signal ainsi envoyé aux entreprises innovantes peut être contre-productif, celles-ci estimant généralement qu'**un tour de présentation (« soutenance »)** de leur solution est nécessaire à la bonne appréciation de sa plus-value.

En synthèse, il est nécessaire que les acheteurs et prescripteurs soient formés aux **techniques de négociation**, qui requièrent une compétence particulière, une connaissance du cadre juridique, ainsi qu'une certaine anticipation, et ne se confondent pas avec une exigence sur le seul aspect « prix ».

<sup>34</sup> Article R. 2124-3 du CCP.



L'article L. 2124-4 du CCP dispose que « *le dialogue compétitif est la procédure par laquelle l'acheteur dialogue avec les candidats admis à y participer en vue de définir ou développer les solutions de nature à répondre à ses besoins et sur la base desquelles ces candidats sont invités à remettre une offre* ».

Cette procédure peut être employée dans des cas limitativement énumérés<sup>35</sup>, notamment lorsque le besoin ne peut être satisfait sans adapter des solutions immédiatement disponibles ou lorsqu'il consiste en une solution innovante (critère qui peut être établi à l'aide du faisceau d'indices).

Le dialogue permet alors d'échanger et de **déterminer avec les candidats la solution technique ou financière adéquate**, que la personne publique n'est pas en mesure de définir seule et à l'avance. La co-construction de la solution constitue la véritable plus-value de cette procédure et c'est cet élément qui différencie le dialogue compétitif de la procédure avec négociation.



Cette procédure ne dispense pas la personne publique d'une **description assez précise de ses besoins** – et des objectifs de performance associés – dans l'avis de marché et, le cas échéant, dans un programme fonctionnel (cf. [point relatif à la définition fonctionnelle des besoins](#)), afin de lancer les échanges avec les candidats qui estimeront être en mesure de formuler une réponse appropriée.

La consistance de la description des besoins pourra faire l'objet d'un contrôle du juge administratif en cas de contentieux et sera sanctionnée, si elle s'avère insuffisante.

Une fois les spécifications techniques définies et le dialogue lancé, la **discussion** issue du programme fonctionnel peut porter sur un **champ très large**, y compris sur la décomposition du prix ou le découpage du marché<sup>36</sup>, ce qui favorise la créativité des candidats tant sur le plan technique que de l'ingénierie contractuelle et financière.

Ces derniers peuvent toutefois être réticents à l'idée de présenter des idées innovantes, de peur qu'elles soient reprises dans le cahier des charges et fournies aux autres candidats après le dialogue pour la remise des offres finales. Il convient donc que l'ensemble de l'équipe projet soit vigilante et respectueuse de la **confidentialité** des offres, y compris intermédiaires.

Une bonne pratique peut consister à ne pas demander à l'entreprise de dévoiler l'intégralité du procédé mis en œuvre (qui relève du secret des affaires), dès lors que les informations qu'elle communique sont de nature à donner une garantie suffisante à l'acheteur sur la viabilité de la solution proposée.

Un autre frein potentiel à la participation des entreprises à un dialogue compétitif (ou bien à son faible emploi par les acheteurs<sup>37</sup>) peut être lié à sa longueur et à son coût. Il s'agit en effet de **mobiliser une équipe pluridisciplinaire** pendant plusieurs mois et parfois sans visibilité suffisante sur les modalités de discussions.



Le recours au dialogue doit donc être pensé en amont, et éventuellement réservé à des **projets d'envergure**, mettant en œuvre une certaine complexité et justifiant la mobilisation d'équipes dédiées, tant du côté public que du côté privé. Il est aussi recommandé de limiter le nombre de candidats admis à dialoguer (le minimum réglementaire étant fixé à 3), afin de maîtriser la charge induite par cette procédure et d'en consolider le pilotage.

Si l'acheteur est libre d'organiser le dialogue, dont les modalités sont prévues dans les documents de la consultation, un **phasage clair** dès le démarrage de la procédure est de nature à donner de la visibilité aux opérateurs sur les moyens à mettre en œuvre.

<sup>35</sup> Liste complète des conditions de recours à l'article R. 2124-3 du CCP.

<sup>36</sup> Article R. 2161-26 du CCP : « *tous les aspects du marché peuvent être discutés* ».

<sup>37</sup> On recense 41 dialogues compétitifs en 2017 pour les services de l'Etat (données OECP).

En outre, le calendrier prévisionnel doit laisser suffisamment de temps aux candidats pour travailler leurs solutions, effectuer toutes les démarches nécessaires (visite des locaux, rencontre avec les utilisateurs, etc.), tout en évitant l'écueil d'une procédure trop longue et démotivante.

Le phasage permet en outre d'écarte certaines propositions en cours de dialogue (et en motivant ce choix)<sup>38</sup>, pour ne continuer à mobiliser que les candidats qui ont une chance réelle de remporter le marché.

Enfin, au vu de l'investissement que peuvent représenter des échanges jusqu'à identification de la solution, le **versement d'une prime** est nécessaire et doit être justement proportionné à l'effort demandé<sup>39</sup>.

Prévoir une indemnisation peut contribuer à attirer les entreprises qui, tournées vers l'innovation, ne disposeraient pas de moyens importants à investir sans garantie de succès.



## PARTENARIAT D'INNOVATION

Ce contrat constitue l'une des nouveautés de la nouvelle réglementation européenne.



L'article L. 2172-3 du code de la commande publique dispose que : « *le partenariat d'innovation est un marché qui a pour objet la recherche et le développement de produits, services ou travaux innovants ainsi que l'acquisition ultérieure des produits, services ou travaux en résultant et qui répondent à un besoin ne pouvant être satisfait par l'acquisition de produits, services ou travaux déjà disponibles sur le marché* ».

Il a ainsi pour objet de créer un partenariat de long terme avec les opérateurs économiques retenus, en **dispensant d'une remise en concurrence à l'issue de la phase de R&D** et en évitant de ce fait que les entreprises ayant contribué à l'effort d'innovation ne puissent en bénéficier commercialement.

Le recours au partenariat d'innovation nécessite qu'une étude préalable ait été menée (état du marché à un instant donné) et qu'elle ait conclu à **l'inexistence de solutions adéquates sur le marché**. Concrètement, il ne peut donc pas être utilisé pour acheter des solutions sur étagère ou même des produits non encore commercialisés mais dont la phase de R&D est terminée.

En outre, la valeur estimée des produits, services ou travaux dont l'acquisition est envisagée ne doit pas être disproportionnée par rapport à l'investissement requis pour leur développement, quelle que soit la part des activités de recherche et de développement financée par l'acheteur.

Avant d'engager deux partenariats d'innovation, la SNCF a par exemple réalisé une étude lui permettant de disposer d'une connaissance pointue et aboutie du marché des TGV et des exosquelettes, intégrant les produits commercialisés par des opérateurs économiques étrangers pour tenir compte de la dimension mondiale du marché.



**Si la majorité des acheteurs n'est pas en capacité de mener une étude de marché à l'échelle internationale, ils devront en revanche démontrer qu'ils ont mis en œuvre une réelle démarche de sourcing et d'évaluation**

<sup>38</sup> Article R. 2161-27 du CCP.

<sup>39</sup> Article R. 2161-31 du CCP.

**préalable, suffisamment large pour ne pas manquer des opérateurs (transfrontaliers par exemple) qui auraient pu répondre aux besoins « sur étagère ».**

Le fait qu'un opérateur apparaisse ultérieurement dans le secteur concerné et mette sur le marché une solution similaire à celle développée dans le cadre d'un partenariat ne doit pas nécessairement conduire à l'arrêt de celui-ci. Il est ainsi loisible à l'acheteur de poursuivre ou de mettre un terme au contrat.

Sans être une grande entreprise publique ou une administration d'Etat, il est possible de réaliser des partenariats d'innovation à l'échelle locale. Ainsi, Rennes Métropole a lancé en 2016 un partenariat pour expérimenter et développer des bus standards et articulés à consommation 100 % électrique, dans la perspective de la loi de transition énergétique pour la croissance verte<sup>40</sup>.

De même, le syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne (Siaap) et le syndicat mixte central de traitement des ordures ménagères (Syc tom) ont contracté un partenariat d'innovation portant sur la recherche et le développement d'un procédé de co-méthanisation à haut rendement des déchets organiques et des boues. Trois phases sont envisagées dans ce cadre : une phase de recherche, avec tests et essais en laboratoire, une phase de développement avec la construction d'un pilote, et une phase d'acquisition avec la construction d'une unité industrielle.

Le partenariat ne constitue pas en lui-même une procédure de marché public. En-dessous des seuils européens de procédure formalisée, il est possible de recourir à un MAPA. Au-dessus des seuils européens, la procédure utilisable est la **procédure avec négociation**<sup>41</sup>, avec quelques spécificités. Notamment, la sélection des candidatures doit tenir compte de la capacité des candidats dans le domaine de la R&D et dans l'élaboration et la mise en œuvre de solutions innovantes.

Pour évaluer la **capacité des candidats à innover**, l'acheteur peut se fonder sur les aptitudes des entreprises au regard de produits ou services de même nature (ex : références...) ou des moyens techniques et professionnels proposés (ex : titres et études, outillage...). Il peut également recourir à une assistance à maîtrise d'ouvrage qui disposera de l'expertise nécessaire pour l'accompagner tout au long du contrat, de la passation à l'exécution.

En outre, l'acheteur ne peut attribuer le contrat de partenariat sans avoir négocié au préalable les offres avec les candidats (alors qu'il peut se réserver cette faculté lors d'une procédure avec négociation classique). Les critères d'attribution et les **exigences minimales** ne peuvent pas faire l'objet de négociation, mais doivent être suffisamment précis pour permettre aux opérateurs économiques de déterminer la nature et la portée de la solution requise et donc de participer ou non.

Une fois signé, le partenariat d'innovation est structuré en **plusieurs phases successives**<sup>42</sup>, avec un minimum de deux phases, couvrant le processus de R&D, puis l'acquisition de la solution en résultant. Ces phases peuvent être subdivisées en plusieurs séances thématiques (technique, juridique, financière...). La structure, la durée et la valeur des différentes phases tiennent compte du degré d'innovation de la solution proposée, de la durée et du coût des activités de recherche requises pour le développement de la solution innovante.

Le partenariat d'innovation définit les **objectifs de chaque phase** que le partenaire doit atteindre ainsi que la **rémunération associée**. La répartition des droits de propriété intellectuelle doit également être prévue (cf. [point dédié aux droits de propriété intellectuelle](#)).

Ces dispositions impliquent que les parties ne disposent pas d'une grande liberté concernant la détermination du prix. Ce dernier doit faire l'objet d'une estimation *ex ante* et ne peut pas – par exemple – être fixé à l'issue de chaque phase.

<sup>40</sup> [http://presse.metropole.rennes.fr/upload/espace/1/pi/679\\_1531\\_Dossier\\_presse\\_innovation\\_bus\\_electriques\\_RENNES.pdf](http://presse.metropole.rennes.fr/upload/espace/1/pi/679_1531_Dossier_presse_innovation_bus_electriques_RENNES.pdf)

<sup>41</sup> Articles R. 2172-26 du CCP et suivants.

<sup>42</sup> Article R. 2172-23 du CCP.

S'il peut faire l'objet d'ajustements en cours d'exécution, les composants du prix ainsi qu'un **plafond de rémunération maximal** doivent être préalablement déterminés, afin d'éviter une dérive potentielle des coûts. Un bon sourcing contribuera à la détermination du plafond adapté, ni trop faible, ni trop élevé (ce qui conduirait à l'arrêt du partenariat).

Afin de répondre à la nécessité de fixer un prix pour chaque phase dès le démarrage du contrat, il est possible de recourir à un prix forfaitaire, qui peut être complété par des prestations supplémentaires sur BPU, ou bien de recourir à un prix provisoire<sup>43</sup>.



Des **clauses de réexamen**<sup>44</sup> sont également envisageables pour ajuster la rémunération à certaines étapes du contrat, sous réserve de ne pas avoir pour effet de bouleverser l'économie générale du contrat.

Quelle que soit la forme de prix retenue (définitif ou provisoire), il est conseillé de prévoir **une formule de révision des prix** qui permettra d'ajuster le prix initial à l'évolution des conditions économiques.

A l'issue de chaque phase, sur la base des résultats obtenus, l'acheteur décide<sup>45</sup> :

- soit de poursuivre l'exécution, éventuellement après avoir modifié, avec l'accord du partenaire, les objectifs de la phase suivante et les moyens à mettre en œuvre pour les atteindre ;
- soit de mettre un terme au partenariat d'innovation ou, lorsqu'il existe plusieurs partenaires, de réduire leur nombre en mettant un terme à leurs contrats.

**En tout état de cause, la phase d'acquisition ne peut être mise en œuvre que si le résultat correspond aux niveaux de performance et aux coûts maximum convenus entre l'acheteur public et le partenaire.**

Si plusieurs partenaires arrivaient à des solutions qui répondent toutes à ces niveaux convenus, le partenariat d'innovation peut prévoir que l'acheteur répartira entre eux ses commandes de manière égale. Il peut aussi prévoir que le partenaire avec lequel la phase d'acquisition sera mise en œuvre sera désigné sur la base des critères d'attribution qui ont été utilisés pour attribuer le partenariat.



#### Facteurs clé d'un partenariat d'innovation :

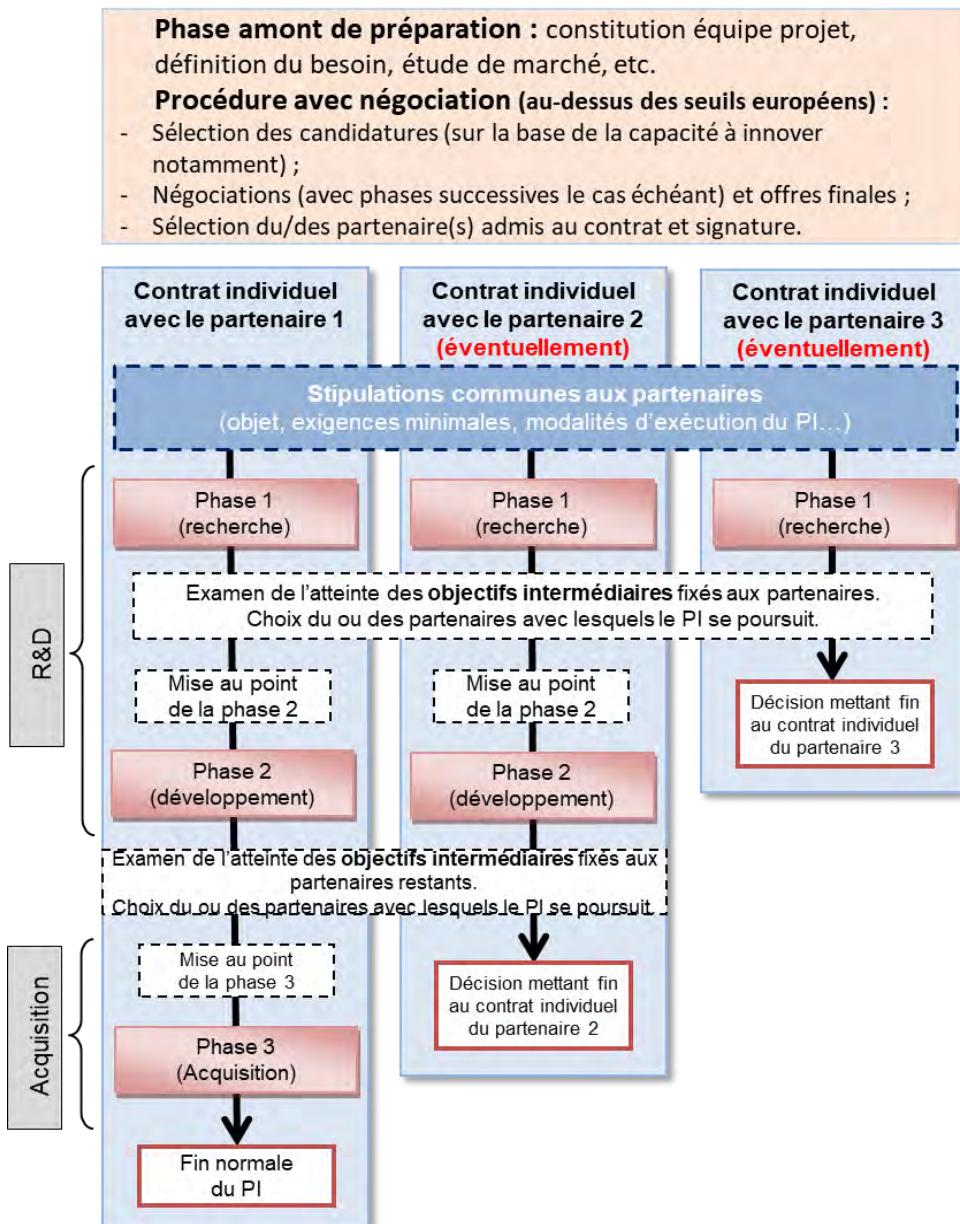
- ❖ phase d'évaluation préalable bien consolidée afin de déterminer si une phase de R&D est véritablement requise + réflexion sur les droits de propriété intellectuelle ;
- ❖ planning général et phasage du contrat anticipés dès le démarrage ;
- ❖ constitution d'une équipe projet pluridisciplinaire comprenant des experts du domaine concerné (ou une assistance à maîtrise d'ouvrage) et d'un véritable pilotage / suivi du contrat dans la durée, ce qui permettra notamment d'évaluer les résultats intermédiaires des partenaires et d'ajuster la rémunération ;
- ❖ méthode de travail collaboratif et agile pour échanger et co-construire avec les partenaires ;
- ❖ respect de l'égalité de traitement des partenaires et du secret des affaires tout au long du contrat.

<sup>43</sup> Article R. 2112-15 et s. du CCP.

<sup>44</sup> Article R. 2194-1 du CCP.

<sup>45</sup> Article R. 2172-31 du CCP.

## Schéma de synthèse de la passation et de l'exécution d'un partenariat d'innovation



# Commissariat général au développement durable

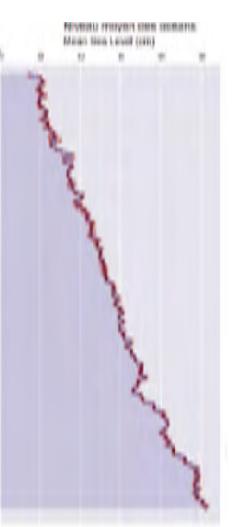
## Chiffres clés du climat

### France, Europe et Monde

ÉDITION 2019

#### partie 1 : qu'est-ce que le changement climatique ?

- Les conclusions de la communauté scientifique et notamment du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec, voir glossaire) font désormais consensus : le climat de la planète se réchauffe. Il est possible d'observer ce réchauffement à partir de nombreux indicateurs, plus ou moins directs. Une sélection est présentée dans cette partie à l'échelle du monde et de la France. Pour ce qui est des causes du changement climatique, des éléments scientifiques montrent comment les émissions de gaz à effet de serre (GES, voir glossaire) liées aux activités humaines dérègulent l'effet de serre naturel et induisent une augmentation des températures. La science climatique permet également de faire des projections sur les conséquences possibles du changement climatique dans le futur.

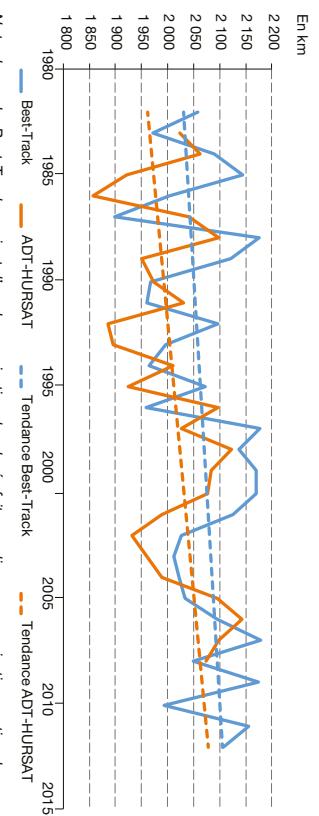
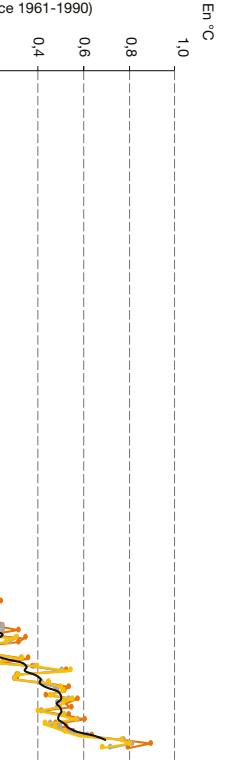


ÉVOLUTION DU NIVEAU MOYEN DES MERS DU GLOBE PAR RAPPORT À LA PÉRIODE DE RÉFÉRENCE 1900-1905

Le réchauffement de la température moyenne mondiale est très net. L'écart par rapport à la moyenne de la période de référence 1961-1990 est fortement négatif jusqu'en 1940, ensuite le plus souvent négatif jusqu'en 1980, puis le réchauffement s'accentue et l'écart est presque systématiquement positif depuis le début des années 1980. La décennie 2001-2010 a été plus chaude de 0,21 °C que la décennie 1991-2000 et se situe 0,48 °C au-dessus de la moyenne 1961-1990. L'année 2016 a été caractérisée par des températures supérieures de 1,1 °C par rapport à la période préindustrielle. Elle se classe au premier rang parmi les années les plus chaudes depuis 1850. Même si 2017 est un peu en retrait par rapport à 2016, les quatre dernières années (2014, 2015, 2016, 2017) constituent les quatre années les plus chaudes jamais enregistrées.

#### ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE MONDIALE DE 1850 À 2017

ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE MONDIALE DE 1850 À 2017



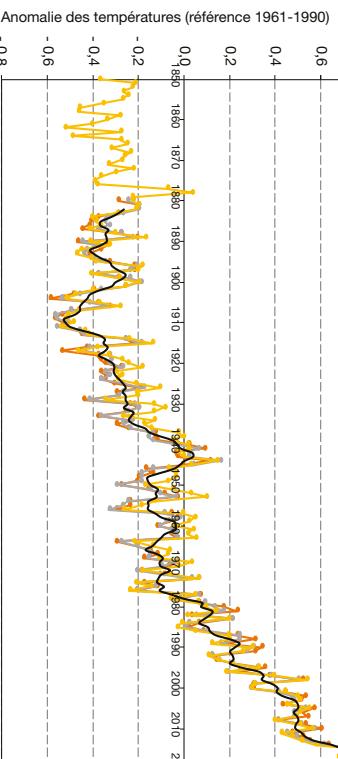
Note : date de dernière mesure : 16 janvier 2018 (+ 3,31 mm/an, référence GMST, corrigée rebond). Sources : CNES ; LEGOS ; CFS

Le niveau moyen de la mer s'est élevé de  $1,7 \pm 0,3$  mm/an sur la période 1901-2010. Le taux d'élévation du niveau marin s'est accéléré durant les dernières décennies pour atteindre  $3,2 \pm 0,4$  mm/an sur la période 1993-2010 (mesures satellitaires).

#### DÉPLACEMENT Moyen DES TRAJECTOIRES DES CYCLONES VERS LES PÔLES

## Observations du changement climatique

ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE MONDIALE DE 1850 À 2017

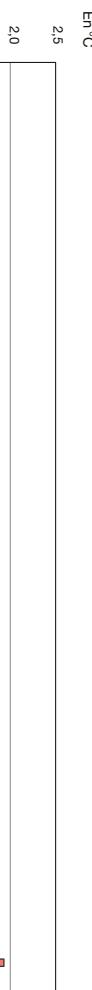


Source : J.P Kossin, et al., Nature, 2014

Des travaux récents montrent que la latitude à laquelle les cyclones ont atteint leur intensité maximale a migré vers les pôles dans les deux hémisphères, d'environ 50 à 60 km tous les 10 ans, atteignant ainsi des territoires supplémentaires.

## ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE EN FRANCE MÉTROPOLITAINE DEPUIS 1900

En °C



Note : l'évolution de la température moyenne annuelle est représentée sous forme d'écart de cette dernière à la moyenne observée sur la période 1961-1990 (11,8°C).

Champ : France métropolitaine.

Source : Météo-France

Comme à l'échelle mondiale, l'évolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine témoigne d'un réchauffement net depuis 1900. Ce réchauffement a connu un rythme variable, avec une augmentation particulièrement marquée depuis les années 1980. La température moyenne annuelle de 13,4 °C a dépassé la normale (référence 1961-1990) de 1,6 °C, plaçant l'année 2017 au cinquième rang des années les plus chaudes.

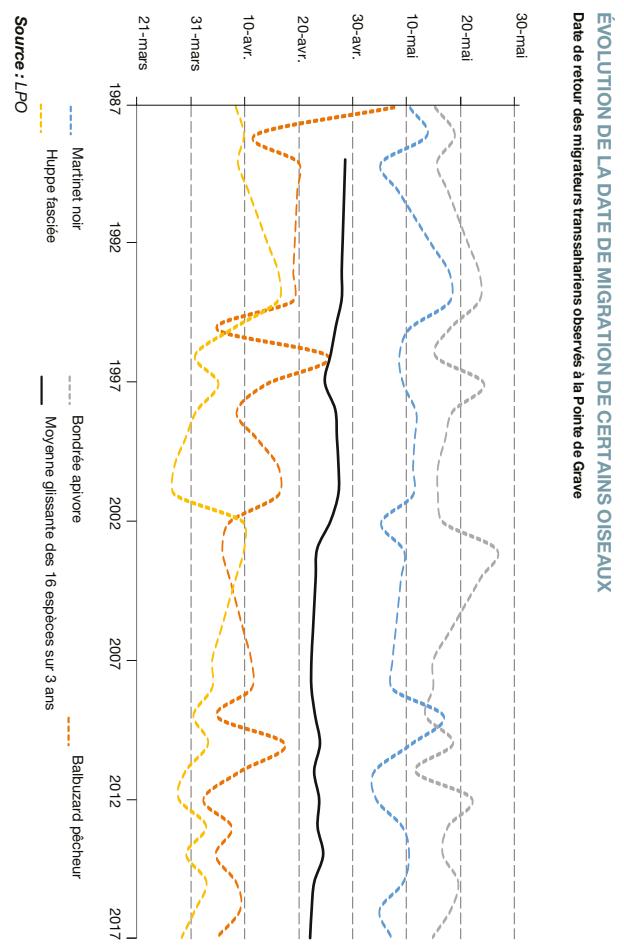
## ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES

Un événement climatique est dit extrême lorsqu'il dépasse de beaucoup les niveaux de référence. L'évolution du climat modifie la fréquence, l'intensité, l'étendue, la durée et le moment d'apparition des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. Il peut porter ces phénomènes (cyclones, tempêtes, canicules, événements pluvieux intenses, etc.) à des niveaux sans précédent.



Source : National Hurricane Center

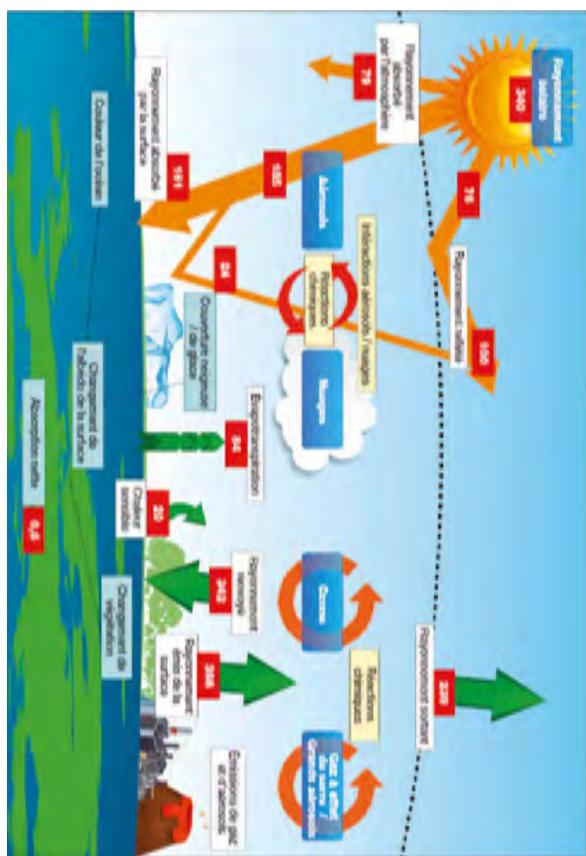
Pour le XXI<sup>e</sup> siècle, les simulations effectuées par les modèles climatiques indiquent une possible baisse de la fréquence des cyclones tropicaux sur l'ensemble de la planète. Dans le cinquième rapport du Giec (2013), les experts estiment aussi que les plus forts cyclones seront probablement plus puissants, avec des vents maximums plus élevés. Les précipitations liées aux systèmes cycloniques devraient être également plus intenses.



En moyenne, les migrants transsahariens, observés à la Pointe de Grave (Gironde) pour leur migration prénuptiale, reviennent 6,5 jours plus tôt depuis les premières observations réalisées en 1987. Les 16 espèces suivies ne répondent pas de la même manière au réchauffement climatique : le décalage temporel atteint presque 17 jours pour le Bébeward pêcheur, tandis qu'il est de moins de 1 jour en moyenne pour le Martinet noir. Cependant, toutes les espèces de migrants transsahariens observées présentent une date de retour plus précoce.

## Causes du changement climatique

## L'EFFET DE SERRE NATUREL ET SES PERTURBATIONS PAR LES ACTIVITÉS HUMAINES



Note : les favoris solaires fournissent de l'énergie à la Terre. Une partie est directement reflétée vers l'espace, tandis que la majorité est absorbée par l'atmosphère ou la surface du globe. La température relativement clément à la surface de la Terre est due à la présence de GES qui

L'augmentation de la concentration atmosphérique de GES par les émissions anthropiques (voir glossaire) accroît le renvoi d'énergie vers le sol, entraînant un déséquilibre du système et provoquant l'élévation de la température terrestre. La modification par rapport à une année de référence de la radiation induite par un élément est appelée forçage radiatif. Un forçage radiatif positif indique une contribution positive au réchauffement climatique. L'ensemble du forçage radiatif d'origine anthropique s'élève à + 2,55 (+ 1,1) W/m<sup>2</sup> en 2013 par rapport à 1750.

## GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

Hors vapeur d'eau, les GES (*voir glossaire*) occupent moins de 0,1 % du volume atmosphérique. La vapeur d'eau, qui fluctue entre 0,4 % et 4 %, est le principal gaz à effet de serre. Les activités humaines ont très peu d'impact sur les fluctuations de sa concentration, mais ont un impact fort sur les concentrations des autres GES.

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>	NF <sub>3</sub>
Concentration atmosphérique 2016 (en 2005 entre parenthèses)	403 ppm (379 ppb)	1 842 ppb (1 773 ppb)	329 ppb (320 ppb)	> 183 ppt (> 4,1 ppb)	> 88 ppt (> 5,6 ppb)	8,9 ppt (5,6 ppb)	1,4 ppt (> 0 ppb)
Potentiel de réchauffement global (cumulé sur cent ans)	1	28,30	265	[ 1,4 ; 14 800 ]	[ 6 630 ; 11 100 ]	23 500	16 100

Origine des émissions anthropiques

Combustion d'énergie fossile, procédés industriels et déforestation tropicale	Décharges, agriculture, procédés élevage et procédés industriels d'engrais	Agriculture, procédés industriels, utilisation de composts électroniques	Sprays, réfrigération, procédés industriels	Fabrication de matériaux et plastiques
---	--	--	---	--

Modification du forage radiatif en 2016 depuis 1750 par les émissions anthropiques (W/m<sup>2</sup>) (en 2005 entre parenthèses)

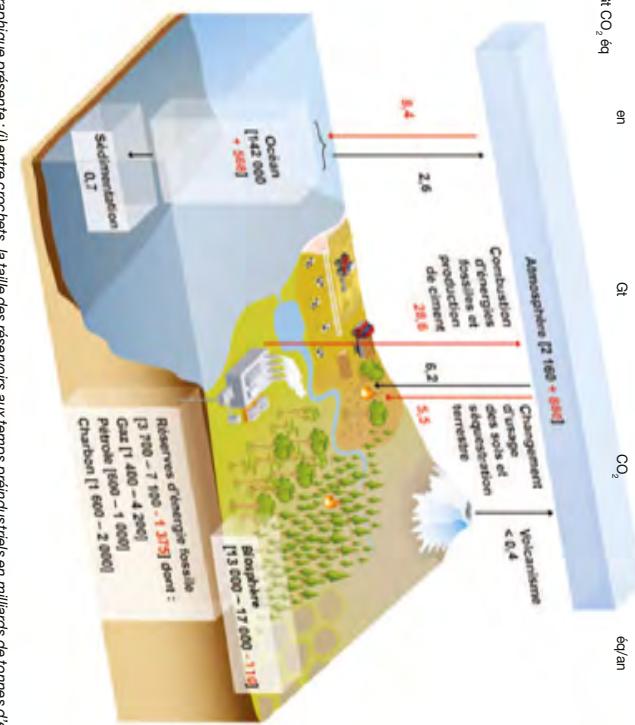
	+ 1,99 (+ 0,48)	+ 0,51 (+ 0,16)	+ 0,19 (+ 0,09)	+ 0,12 (+ 0,09)
--	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

ppm : partie par million; ppb : partie par milliard; ppt : partie par trillion. Sources : Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013; NOAA, 2018; Agage, 2018

Note : ce graphique présente : i) entre crochets, la taille des réservoirs aux temps pré-industriels en milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en noir et leur variation sur la période 1750-2011 en rouge ; ii) sous forme de flèches, les flux de carbone entre les réservoirs en milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an. Les flux pré-industriels sont en noir. Ceux qui sont liés aux activités anthropiques entre 2000 et 2009 sont en rouge.

Source : d'après Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013

Quatre grands réservoirs permettent de stocker le carbone sous différentes formes :



Note : ce graphique présente : i) entre crochets, la taille des réservoirs aux temps pré-industriels en milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> en noir et leur variation sur la période 1750-2011 en rouge ;

ii) sous forme de flèches, les flux de carbone entre les réservoirs en milliards de tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an. Les flux pré-industriels sont en noir. Ceux qui sont liés aux activités anthropiques entre 2000 et 2009 sont en rouge.

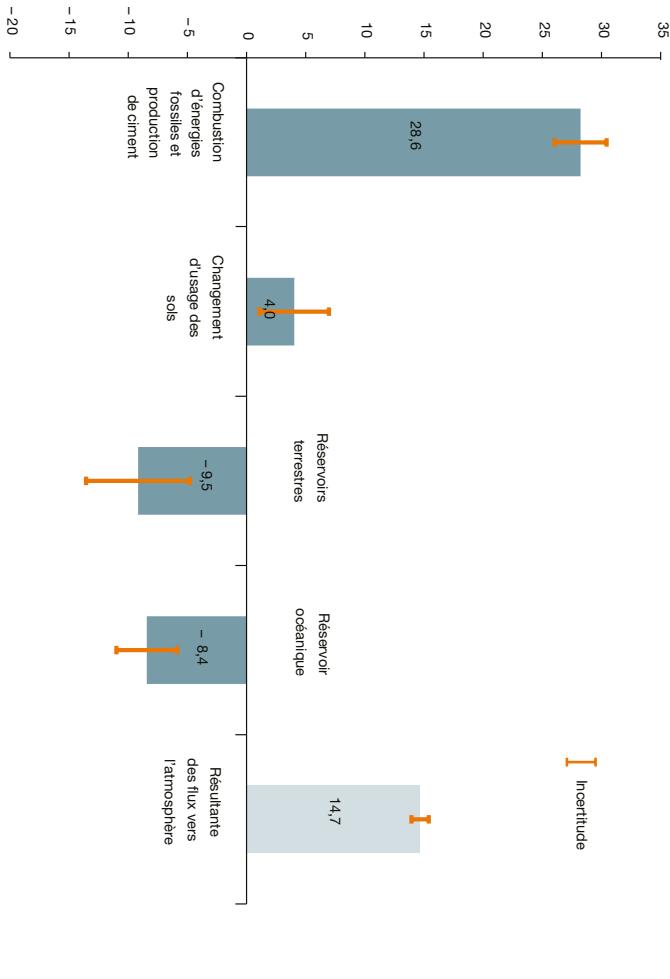
Le potentiel de réchauffement global (PRG, *voir glossaire*) est le rapport entre l'énergie renvoyée vers le sol en 100 ans par 1 kg de gaz et celle que renverrait 1 kg de CO<sub>2</sub>. Il dépend des concentrations et des durées de vie des gaz. Par exemple, 1 kg de CH<sub>4</sub> réchauffera autant l'atmosphère que 28 à 30 kg de CO<sub>2</sub> au cours du siècle qui suit leur émission.

Si le CO<sub>2</sub> est le gaz qui a le plus petit potentiel de réchauffement global, il est celui qui a contribué le plus au réchauffement climatique depuis 1750, du fait des importantes quantités émises.

- atmosphère : CO<sub>2</sub> gazeux;
  - biosphère : matière organique issue des êtres vivants dont la forêt ;
  - océan : calcaire, CO<sub>2</sub> dissous ;
  - sous-sol : roches, sédiments, combustibles fossiles.
- Les flux de carbone entre ces réservoirs constituent le cycle naturel du carbone, déréglé par les émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>, qui modifient les flux échangés ou en créent de nouveaux comme la combustion des réserves de carbone organique fossile.

## DÉSÉQUILIBRE ENTRE LES ÉMISSIONS ET LA CAPACITÉ

**DE STOCKAGE DU CO<sub>2</sub>**  
Flux annuels nets de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère par source et par réservoir sur la période 2000-2009 En Gt CO<sub>2</sub>/an



**Source :** Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013

Au cours des années 2000, sur les 32,6 milliards de tonnes (Gt) de CO<sub>2</sub> libérées en moyenne par an par les activités humaines, l'atmosphère en a absorbé 14,7, les réservoirs terrestres (biosphère et sols) 9,5 et les océans 8,4. L'atmosphère est le réservoir le plus affecté par les activités anthropiques : la quantité de carbone absorbée a augmenté de près de 40 % par rapport à l'ère préindustrielle.

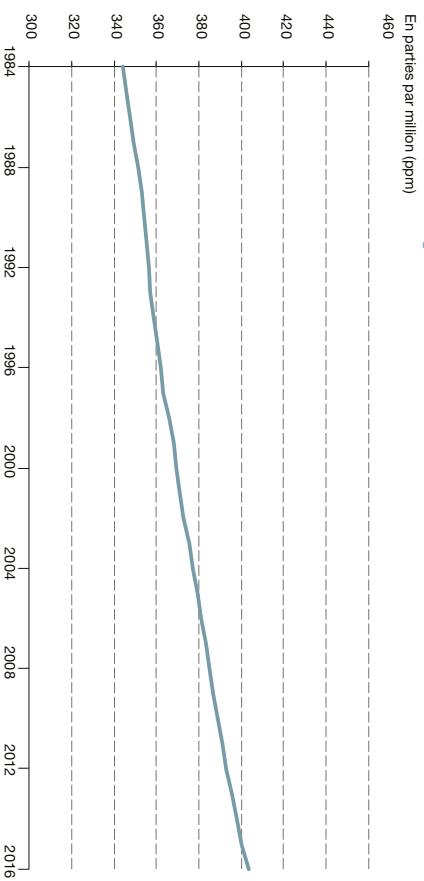
## RÔLE DE LA FORÊT DANS LE CYCLE DU CO<sub>2</sub>

À l'échelle mondiale, les forêts sont des puits nets de carbone. Le puits brut attribué à la biosphère – c'est-à-dire essentiellement aux forêts, qui concentrent 80 % de la biomasse aérienne et 50 % de la photosynthèse terrestre (Dixon et al., 1994 ; Beer et al., 2010) – compense 19 % des émissions anthropiques annuelles de GES, soit environ 10 Gt CO<sub>2</sub> équivalent (voir glossaire) – (Giec 2013, Canadell et al., 2007).

La déforestation entraîne des émissions de GES par la combustion et la décomposition des matières organiques. Ces émissions brutes représentent environ 12 % des sources anthropiques annuelles de GES dans le monde (Giec 2013).

En France, la séquestration nette de carbone dans la biomasse des forêts est estimée à environ 50 Mt CO<sub>2</sub> éq. soit environ 12 % des émissions nationales de carbone fossile hors utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF, voir glossaire) – (Citepa, 2017).

## CONCENTRATION DE CO<sub>2</sub> ATMOSPHERIQUE

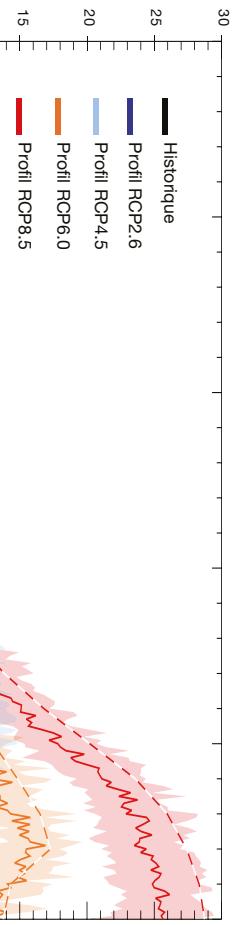


**Source :** CMDGS sous l'égide de l'OMM

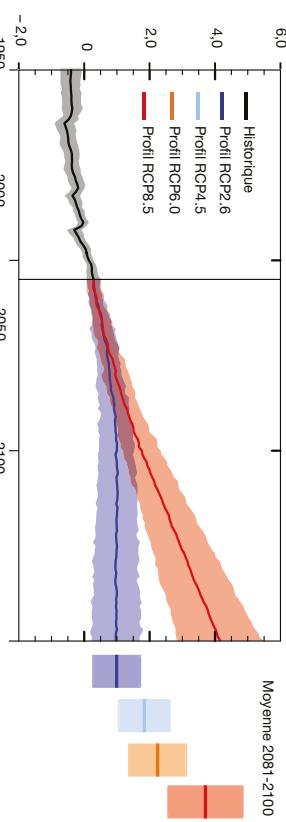
Depuis le développement des activités industrielles, les réservoirs terrestres et océaniques ont absorbé la moitié des émissions anthropiques. Les émissions restantes persistent dans l'atmosphère, entraînant l'accroissement des concentrations de GES.

## Scénarios et projections climatiques

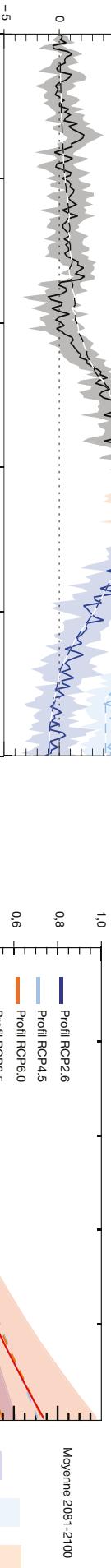
PROJECTIONS DES ÉMISSIONS LIÉES AUX ÉNERGIES FOSSILES SUivant LES QUATRE PROFILS D'ÉVOLUTION DE GES (RCP DU GIEC)



ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES ET NIVEAU DES MERS SUivant LES SCÉNARIOS DU GIEC



Source : Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail, 2013



Le Giec a publié son premier rapport (*First Assessment Report*) en 1990. Son cinquième rapport (AR5) est paru dans son intégralité fin 2014. À chaque publication, le Giec communique des projections climatiques fondées sur des hypothèses de concentration de GES.

Pour l'AR5, quatre profils d'évolution des concentrations des GES (RCP, pour *Representative Concentration Pathways*) ont été définis : RCP2.6 ; RCP4.5 ; RCP6.0 ; RCP8.5, du plus optimiste au plus pessimiste, nommés d'après la valeur du forçage radiatif induit à l'horizon 2100 (RCP8.5 correspond ainsi à une situation où le forçage radiatif à l'horizon 2100 s'élève à 8.5 W/m<sup>2</sup>).

Ces profils correspondent à des efforts plus ou moins grands de réduction des émissions de GES au niveau mondial. À partir de ces derniers, des simulations climatiques et des scénarios socio-économiques ont été élaborés.

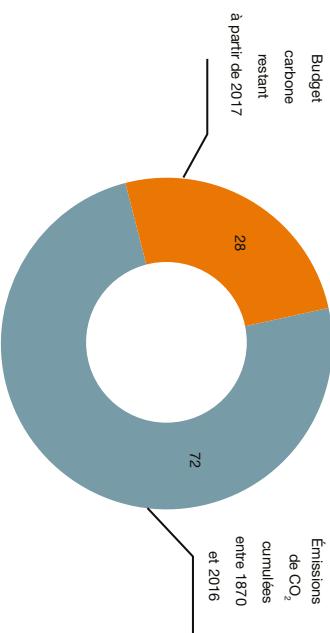
Les principaux facteurs d'élévation du niveau des mers sont la dilatation thermique des océans et la fonte de réservoirs terrestres de glace (glaciers, calottes polaires, etc.). L'augmentation du niveau des mers sera probablement à l'origine de fortes migrations de populations, puisque plus d'un milliard de personnes vivent dans des basses terres côtières.

Malgré de nombreux progrès ces dernières années, de grandes marges d'incertitude subsistent dans les modèles de prévision relatifs à la fonte des glaces.

## BUDGETS CARBONE ET HAUSSE DE LA TEMPÉRATURE

Parmi les quatre scénarios principaux du Giec, seul le plus ambitieux, RCP2.6, donne une probabilité supérieure à 50 % de limiter la hausse à 2 °C à l'horizon 2100. Le scénario tendanciel, RCP8.5, a plus de 50 % de probabilité d'aboutir à une hausse supérieure à 4 °C.

Budget carbone correspondant à une limite à 2 °C de la hausse moyenne des températures  
En %



Note : les montants s'expriment en pourcentage du budget carbone total donnant une probabilité de 66 % de limiter la hausse des températures à 2 °C depuis l'ère préindustrielle, soit 2 900 Gt CO<sub>2</sub> (cf. texte ci-dessous). Le budget carbone restant à partir de 2017 correspond donc à environ 810 Gt CO<sub>2</sub> (valeur médiane, pour une fourchette indicative de 450-1 050 Gt CO<sub>2</sub>).

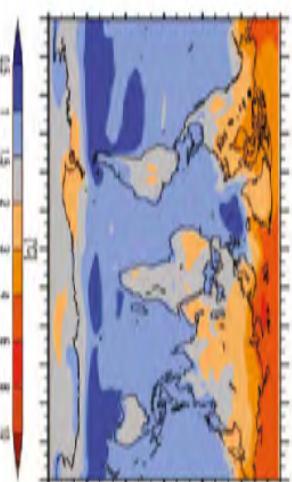
Sources : i4CE, à partir de Global Carbon Project, 2016 ; Giec, 1<sup>er</sup> groupe de travail (2013)

Un budget carbone correspond à une quantité maximale d'émissions de GES pour laquelle il y a une probabilité raisonnable d'éviter la hausse moyenne des températures au-dessus d'un certain niveau. Ainsi, les simulations du Giec indiquent que pour avoir une probabilité de 66 % de limiter à 2 °C l'augmentation moyenne des températures par rapport à l'ère préindustrielle, les émissions cumulées depuis 1870 ne devraient pas dépasser 2 900 Gt CO<sub>2</sub>. Or, les émissions anthropogéniques entre 1870 et 2016 se sont déjà élevées à 2 090 Gt CO<sub>2</sub>. Si les émissions continuaient au même rythme, le budget carbone, qui respecterait une probabilité de 66 % de limiter la hausse des températures à 2 °C, sera épulé d'ici une vingtaine d'années.

La combustion de toutes les réserves actuelles d'énergies fossiles libérerait une quantité de CO<sub>2</sub> bien supérieure (d'un facteur 4 à 7) au budget carbone cohérent avec la limite de 2 °C.

## CONSÉQUENCES POUR LE MONDE

Anomalie de température moyenne pour un réchauffement global de 1,5 °C (scénario RCP 2.6)

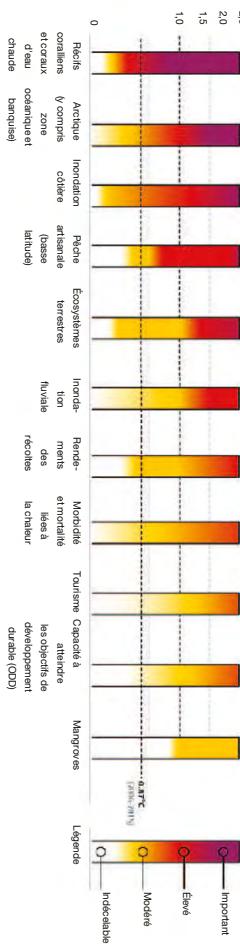


Source : Giec, Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR15)

L'Accord de Paris vise à limiter le réchauffement mondial à + 2 °C voire 1,5 °C. Ce réchauffement ne sera pas identique selon l'endroit du globe : il sera beaucoup plus élevé dans les régions boréales, en Amérique du Nord et en Asie du Nord et centrale.

### Risques pour des systèmes naturels ou humains spécifiques

Hausse des températures moyennes mondiales par rapport aux niveaux pré-industriels (en °C)



Note : le seuil 0,87 °C correspond à la différence entre la température mondiale moyenne sur la décennie 2006-2015 par rapport à la période de référence 1850-1900. Cette figure représente une sélection de risques s'appliquant à différentes sélections de systèmes et ne se veut pas exhaustive.

Source : Giec, Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR15)

## Comment les émissions de GES se répartissent-elles par secteur en Europe et en France ?

### CONSÉQUENCES POUR LA FRANCE

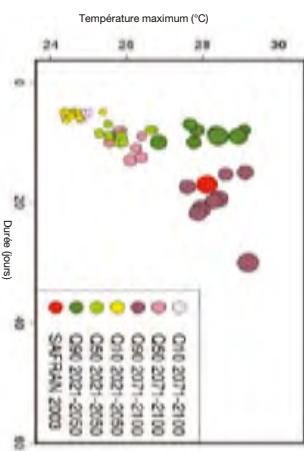
Anomalie moyenne de température pour le scénario RCP 2.6 à différents horizons



Source : Drias, les futurs du climat, 2014.

Un réchauffement climatique mondial limité à 2 °C (voire 1,5 °C) par rapport à l'ère préindustrielle, tel que visé par l'Accord de Paris, aurait des répercussions différentes sur la France métropolitaine selon les régions, plus accentuées dans l'est de la France à cause de l'influence océanique amoindrie.

Caractéristiques des vagues de chaleur en France pour le scénario RCP 4.5 à différents horizons



Note : caractéristiques statistiques des vagues de chaleur futures pour les périodes 2021-2050 et 2071-2100 suivant le scénario RCP4.5. La durée d'une canicule est indiquée en jours sur l'axe horizontal, son pic d'intensité en degrés sur l'axe vertical et le diamètre du disque est proportionnel à son intensité moyenne. Pour chacune des périodes,

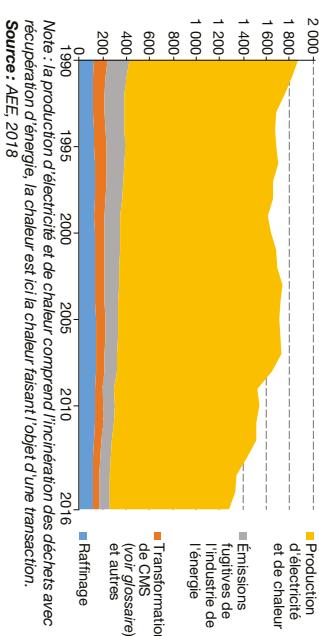
les caractéristiques des 10, 50 et 90e centiles des ensembles de canicules simulées par 8 modèles d'Euro-CORDEX sont reproduites. La canicule de 2003 représentée en rouge sur la figure, deviendrait moins exceptionnelle à long terme selon le scénario RCP 4.5. Source : Ouzoueau et al., 2016

(...)

– Les inventaires français et européen permettent une décomposition des émissions de GES par secteur et sous-secteur. En Europe et en France, les baisses d'émissions les plus importantes depuis 1990 sont observées dans les secteurs de l'énergie et surtout de l'industrie manufacturière. Les émissions du résidentiel et du tertiaire suivent également une tendance à la baisse en Europe et dans une moindre mesure en France. Le secteur des transports fait exception avec des niveaux d'émissions en 2016 supérieurs à ceux de 1990 en Europe et en France, même s'ils sont inférieurs à leurs pics atteints dans les années 2000. Par rapport à 2015, en France, les émissions progressent légèrement dans le transport routier ainsi que dans le résidentiel-tertiaire. L'UTCATF affiche des émissions négatives, ce qui correspond à une séquestration nette de CO<sub>2</sub> par la biomasse et les sols.

## Émissions de GES de l'industrie

### ÉMISSIONS DE GES DE L'INDUSTRIE DE L'ÉNERGIE DANS L'UE



Source : AEE, 2018

### ÉMISSIONS DE GES DE L'INDUSTRIE DE L'ÉNERGIE EN FRANCE

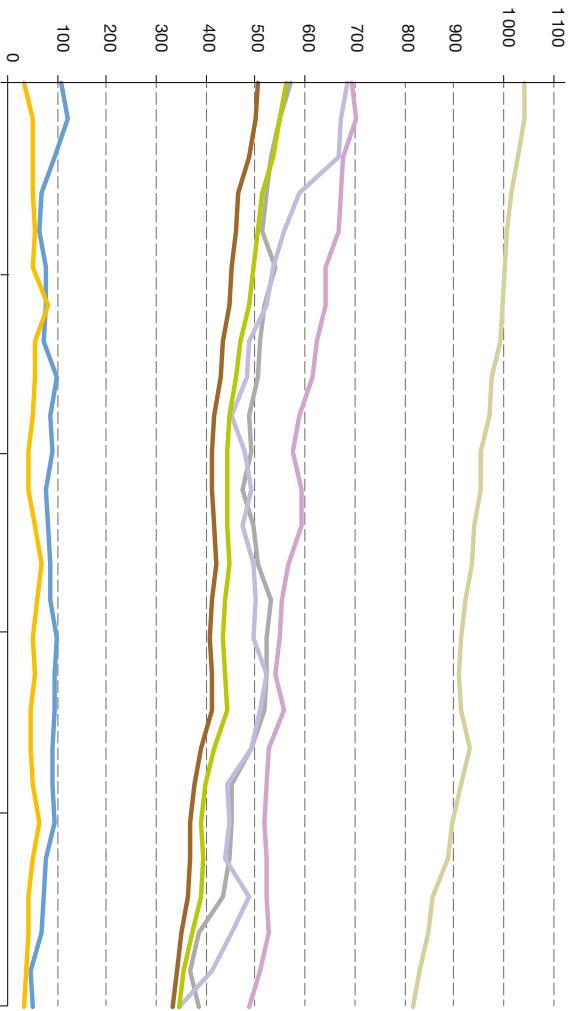


Note : la production d'électricité et de chaleur comprend l'incinération des déchets avec récupération d'énergie, la chaleur est ici la chaleur faisant l'objet d'une transaction.

Source : AEE, 2018

## **ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> POUR PRODUIRE 1 KWH D'ÉLECTRICITÉ DANS L'UE**

## Émissions de GES dues à la gestion des déchets

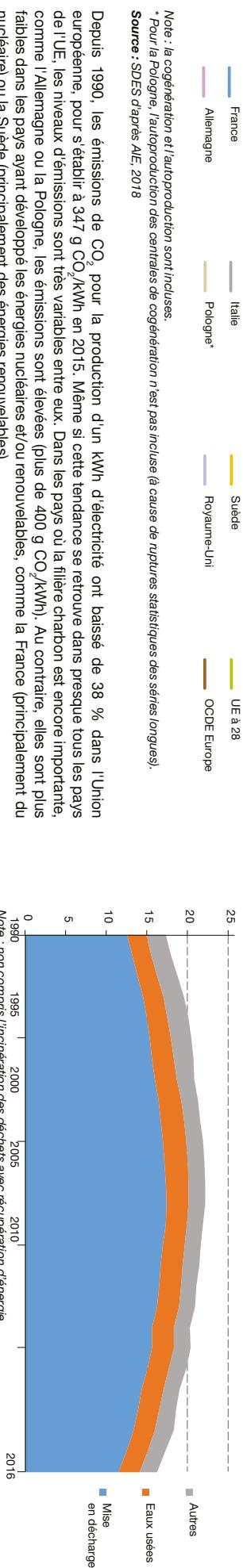


Note : la cogénération et l'autoproduction sont incluses.  
 \* Pour la Pologne, l'autoproduction des centrales de cog

**Source :** SDES d'après AIE, 2018

## ÉMISSIONS DE GES DUES À LA GESTION DES DÉCHETS EN FRANCE

En Mt CO<sub>2</sub> éq



Depuis 1990, les émissions de CO<sub>2</sub> pour la production d'un kWh d'électricité ont baissé de 38 % dans l'Union européenne, pour s'établir à 347 g CO<sub>2</sub>/kWh en 2015. Même si cette tendance se retrouve dans presque tous les pays de l'UE, les niveaux d'émissions sont très variables entre eux. Dans les pays où la filière charbon est encore importante, comme l'Allemagne ou la Pologne, les émissions sont élevées (plus de 400 g CO<sub>2</sub>/kWh). Au contraire, elles sont plus faibles dans les pays ayant développé les énergies nucléaires et/ou renouvelables, comme la France (principalement du nucléaire) ou la Suède (principalement des énergies renouvelables).

Les émissions liées à la gestion des déchets sont principalement du méthane émis lors de la décomposition des déchets en décharge. Ces émissions sont en baisse depuis le milieu des années 1990 dans l'UE et depuis le milieu des années 2000 en France.



# Capture et séquestration du carbone : une solution qui peine à se concrétiser

La capture et la séquestration du carbone (CSC) permet d'éviter le rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère en récupérant le dioxyde de carbone au niveau des installations émettrices puis en le stockant ou en le valorisant, éventuellement après transport. La CSC pourrait permettre de réduire rapidement les émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'électricité et à l'industrie sans renoncer à la consommation d'énergie fossile. La faisabilité technique de cette solution est démontrée par des projets pilotes, dont Petra Nova inauguré en 2017. Pourtant la CSC peine à se déployer : seuls 5 projets sont en cours dans le monde. Comment expliquer ces réticences ?

Rédacteur principal • THIBAULT LACONDE • Consultant, Energie & Développement

## SOMMAIRE .....

### **1 • LA CSC : MIRACLE OU MIRAGE ?**

- Le fonctionnement de la CSC
- La CSC aujourd'hui dans le monde

### **2 • ENTREPRISES : UN ENTHOUSIASME SANS MODÈLE ÉCONOMIQUE**

- Un prix du carbone insuffisant pour aller au-delà des projets pilotes
- La voie réglementaire

### **3 • UNE SOCIÉTÉ CIVILE DIVISÉE**

- ONG et monde académique
- Communautés locales

### **4 • LES COLLECTIVITÉS : ARBITRES INDÉCIS**



## 1 • LA CSC : MIRACLE OU MIRAGE ?

La capture et la séquestration du carbone est un ensemble de techniques permettant de récuperer le dioxyde de carbone dans de grandes installations émettrices (centrale thermique, aciérie, etc.) et de le stocker durablement afin d'éviter son rejet dans l'atmosphère.

Contrairement à la plupart des techniques de mitigation, **la CSC pourrait permettre de réduire les émissions sans renoncer à la consommation d'énergies fossiles et donc sans bouleverser nos modes de consommation ou la structure de nos économies.** Elle présente aussi l'avantage de pouvoir, potentiellement, être mise en place a posteriori sur un outil industriel existant.

**• LE FONCTIONNEMENT DE LA CSC •** La CSC comprend trois grandes étapes :

- la capture : séparer le dioxyde de carbone des autres effluents gazeux en sortie de cheminée ou modifier les processus industriels de façon à ce qu'ils rejettent du CO<sub>2</sub> pur ;
- la séquestration : stocker durablement le dioxyde de carbone récupéré de façon à ce qu'il ne puisse pas rejoindre l'atmosphère ;
- le transport : acheminer le dioxyde de carbone du point de capture à celui de stockage ;
- chacune de ces étapes peut faire appel à plusieurs technologies - avec parfois des niveaux de maturité, des coûts et des impacts environnementaux très variables.

La première étape de la CSC consiste à capturer le dioxyde de carbone en sortie des centrales thermiques ou des installations industrielles. La difficulté de cette étape vient de ce que les effluents ne sont pas composés de dioxyde de carbone pur : comme l'air ambiant ils contiennent environ 2/3 d'azote et diverses impuretés. Il faut donc soit séparer le dioxyde de carbone des autres gaz soit modifier les processus industriels de façon à ce qu'ils ne produisent plus que du CO<sub>2</sub>.

Il existe pour cela trois familles de technologies :

- postcombustion : le dioxyde de carbone est séparé des autres gaz et récupéré directement dans les fumées d'échappement - ce qui permet d'équiper des installations existantes sans modification majeure ;
- oxycombustion : l'installation est modifiée de façon à ce que la combustion d'énergie fossiles soit réalisée dans de l'oxygène pur et ainsi ne produise que de la vapeur d'eau (facile à précipiter) et du dioxyde de carbone ;
- précombustion : ce procédé consiste à extraire le carbone avant la combustion. Cela peut se faire en produisant du monoxyde de carbone à partir du combustible (par exemple par vaporeformage ou oxydation incomplète) lequel réagit avec de la vapeur d'eau pour former d'une part du dioxyde de carbone, d'autre part du dihydrogène (on parle de « shift-conversion »). C'est ensuite l'hydrogène qui est brûlé, ne produisant que de la vapeur d'eau.

---

### Capture atmosphérique et CSC

La capture atmosphérique consiste à retirer du CO<sub>2</sub> non pas en sortie des installations émettrices mais directement dans l'atmosphère. Cette filière émergente se distingue de la CSC puisqu'elle ne fait pas que réduire les émissions, elle crée des « émissions négatives ». Elle connaît un intérêt croissant stimulé notamment par l'objectif de zéro émission nette inscrit dans l'Accord de Paris. La capture atmosphérique s'appuie souvent sur tout ou partie des technologies développées dans le cadre de la CSC. La biomasse + CSC (ou « Bioenergy + CCS », BECCS), par exemple consiste à utiliser la photosynthèse pour retirer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère puis à brûler la biomasse produite en récupérant et en séquestrant le CO<sub>2</sub>: cette technique reprend donc l'ensemble de la chaîne de la CSC. La capture directe (ou « direct air capture ») utilise un procédé technologique pour extraire le CO<sub>2</sub> de l'air ambiant où il est beaucoup moins concentré

**que dans les fumées d'usine (0,04% environ contre 30%) avant de le séquestrer : dans ce cas seuls le transport et la séquestration sont communs avec la CSC.**

Source : center for carbon removal

ENCADRÉ 1

Le dioxyde de carbone capturé doit ensuite être stocké de façon sûre et durable pour éviter qu'il rejoigne l'atmosphère. La solution la plus souvent envisagée est la séquestration géologique : le CO<sub>2</sub> est injecté dans des gisements de pétrole ou de gaz épuisés, dans des veines de charbon inexploitables ou bien des aquifères salins profonds. **En pratique, cependant, le CO<sub>2</sub> capturé est plutôt valorisé que stocké, il est alors vendu ce qui améliore la rentabilité du processus mais peut aussi dégrader son bilan climatique. La valorisation peut consister à :**

- injecter le CO<sub>2</sub> dans un réservoir d'hydrocarbure en cours d'exploitation : lorsque le pétrole ou le gaz est extrait, la pression dans le réservoir baisse, l'injection de CO<sub>2</sub> (ou d'autres gaz) peut permettre de la relever et d'augmenter la production - on parle de récupération assistée ou EOR ;
- utiliser le CO<sub>2</sub> comme matière première dans des procédés chimiques, industriels ou agroalimentaires, par exemple comme solvant, réfrigérant ou dissout dans des boissons pétillantes ;
- utiliser de l'énergie pour convertir le CO<sub>2</sub> en carburant liquide ou gazeux par l'intermédiaire de la photosynthèse (par exemple en produisant des microalgues utilisées ensuite pour la production de biomasse) ou par méthanation.

Il n'est pas toujours possible de valoriser le dioxyde sur le lieu de sa capture et il est rarement possible de l'y stocker. Une étape intermédiaire consiste donc à transporter le gaz. Ce transport peut se faire par gazoduc mais aussi par camion, train ou bateau.

**• LA CSC AUJOURD'HUI DANS LE MONDE •** Le transport et la séquestration du carbone, en général par EOR, se pratiquent à petite échelle depuis plusieurs décennies. Ces premières expériences ont presque toutes lieu dans le cadre de procédés pétrochimiques produisant déjà du CO<sub>2</sub> concentré, sans qu'il soit donc nécessaire de modifier l'installation émettrice. C'est le cas par exemple de la purification du gaz naturel (Terrell Natural aux États-Unis en service depuis 1972, Sleipner en Norvège depuis 1996...) ou de la production d'engrais azotés (Enid Fertilizer aux États-Unis depuis 1982).

La capture du carbone sur des installations qui ne le produisent pas naturellement pur est plus récente. Dans la production d'électricité, par exemple, il existe de nombreux démonstrateurs mais seul deux projets à l'échelle sont actuellement en service : Boundary Dam au Canada (mis en service en 2014) et Petra Nova aux États-Unis (mis en service en 2017).

### **Boundary Dam**

Boundary Dam est une centrale à charbon exploitée par Sask Power dans l'État canadien du Saskatchewan. Son unité 3 a été équipée pour capturer le dioxyde de carbone émis : jusqu'à 90 % du CO<sub>2</sub> produit lors de la combustion, soit environ 50 000 tonnes par mois, est capté par absorption avec un solvant chimique. Le CO<sub>2</sub> est vendu et acheminé par pipeline jusqu'au champ pétrolifère de Weyburn, où il est injecté dans les puits afin d'en augmenter la production. Au début de l'année 2018, Boundary Dam 3 a dépassé le seuil de 2 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> capté. Le projet a coûté 1,35 milliard de dollars canadiens (945 millions d'euros). C'est

environ 5 fois plus qu'une centrale à charbon sans CSC qui, à puissance équivalente, aurait coûté 150 à 200 millions d'euros. A ces investissements s'ajoute une surconsommation d'énergie de l'ordre de 25 %. En effet, en plus de sa capacité nette de 110 MW, la centrale produit 29 MW qui ne servent qu'à alimenter le processus très énergivore de capture du carbone. Malgré ces coûts, le projet a permis de démontrer la faisabilité technique de la CSC post-combustion à l'échelle industrielle.

Source : [www.saskpower.com](http://www.saskpower.com)

ENCADRÉ 2



Si on exclut les démonstrateurs et les pilotes de petite taille, 17 projets de capture et de stockage du carbone sont actuellement en service dans le monde, permettant d'éviter le rejet d'un peu plus de 31 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Cinq projets supplémentaires sont en cours de construction et une quinzaine d'autres sont à divers stades de développement (Global CCS Institute, 2018).

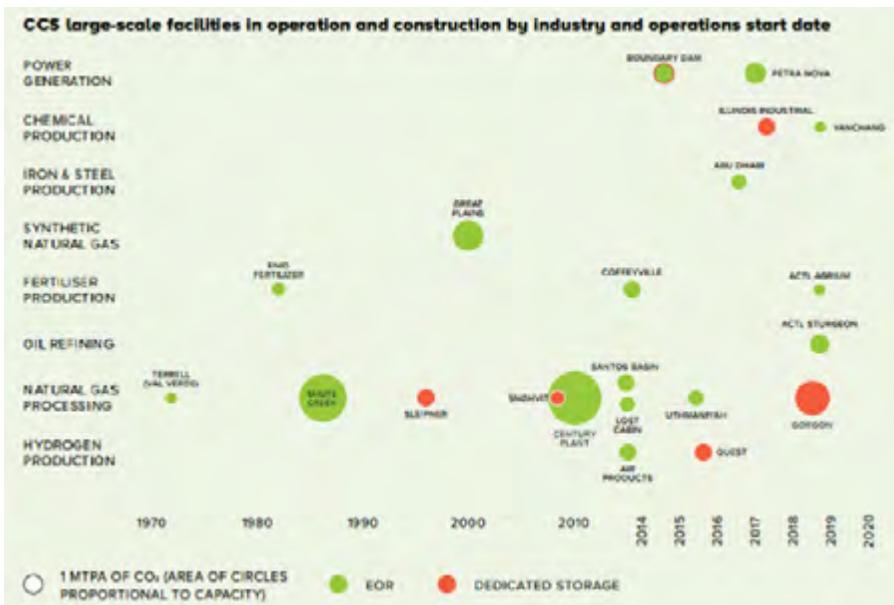


FIGURE 1. PROJETS DE CSC À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE PAR DATE DE MISE EN SERVICE, SECTEUR ET QUANTITÉ SÉQUESTRÉE  
(Global CSC Institute, 2018)

La capture du carbone a par ailleurs connu plusieurs échecs coûteux, on peut citer par exemple les projets FutureGen ou celui de Kemper County aux États-Unis et ZeroGen en Australie.

La faisabilité technique de la capture et de la séquestration du carbone est donc établie mais les projets susceptibles de réduire significativement les émissions restent rares et peinent à se concrétiser. Comment expliquer ces difficultés et quel rôle jouent les acteurs non étatiques dans le développement, ou au contraire les résistances, à la CSC ?

## 2 • ENTREPRISES : UN ENTHOUSIASME SANS MODÈLE ÉCONOMIQUE

La capture du carbone suscite l'intérêt de nombreux acteurs économiques, particulièrement ceux qui dépendent des énergies fossiles puisque son déploiement à grande échelle permettrait de réduire les émissions sans remettre en cause leur activité. Charbonniers, pétroliers, producteurs d'électricité fossile, industries lourdes, etc. soutiennent donc le développement de cette filière, mais - à l'image du projet pilote de Lacq (France) lancé par Total - ces expérimentations débouchent rarement sur une mise en œuvre à l'échelle.

Une des causes majeures de ces réticences est que la capture du carbone n'a pas aujourd'hui de rationalité économique (Kapetaki, 2017).

**• UN PRIX DU CARBONE INSUFFISANT POUR ALLER AU-DELÀ DES PROJETS PILOTES.** Ces projets coûtent cher et dégradent sensiblement le rendement des installations sur lesquels ils sont conduits. Selon les études et les technologies envisagées, la capture et la séquestration du carbone dans une centrale électrique thermique entraînerait ainsi une hausse du coût de l'électricité de 56 à 143 € par mégawattheure. En Europe le cours de l'électricité s'établit autour de 40 €/MWh : il s'agit donc au moins d'un doublement du prix de gros.

Dans ces conditions, il faudrait un prix du carbone de 115 € par tonne en Europe pour que les centrales thermiques avec CSC deviennent l'option la plus rentable. Pour comparaison, le cours des crédits carbone européens évolue généralement entre 4 et 20 € par tonne de CO<sub>2</sub> depuis la création du marché européen du carbone. En Chine, le point de bascule est plus bas : un prix du

carbone de 45 € par tonne suffirait à rendre la CSC rentable dans le secteur électrique. Ce seuil pourrait être atteint d'ici 2030 (Renner, 2014) mais les pilotes chinois de marché du carbone situent pour l'instant le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> entre 0,13 et 15,5 €.

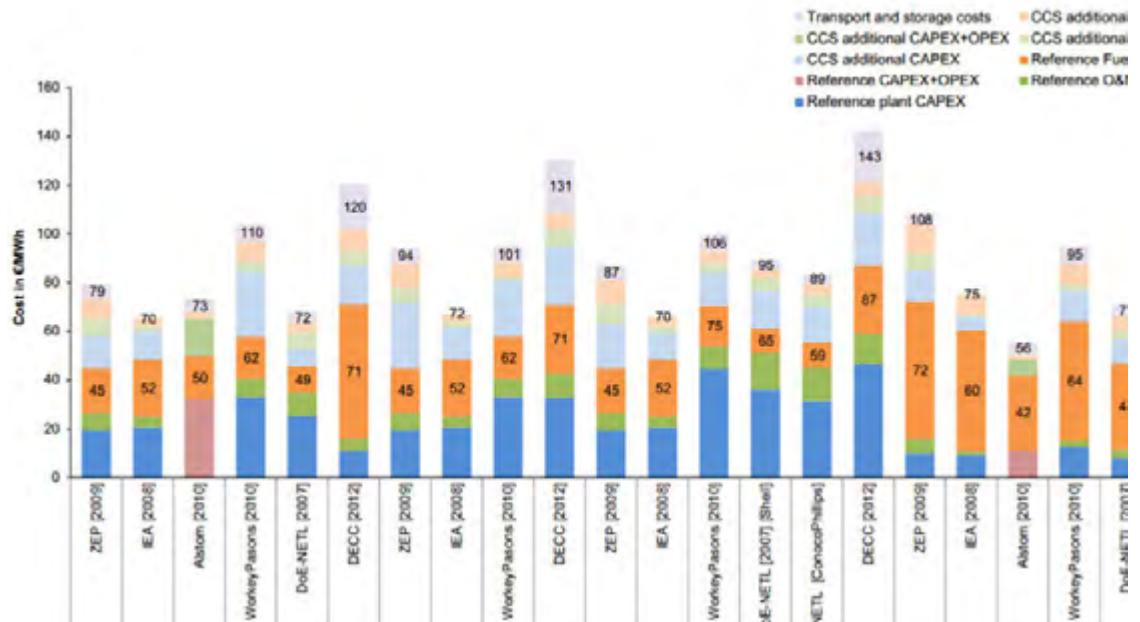


FIGURE 2. SURCOÛT (LCOE) DE LA CAPTURE ET DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE PAR MÉGAWATTHEURE PRODUITS SELON DIVERSES ÉTUDES

(Renner, 2014)

Là où il existe, **le prix du carbone est donc trop bas et souvent trop volatile pour justifier le développement de la capture et de la séquestration du carbone**. Les entreprises ne sont donc pas incitées à aller au-delà des projets pilotes.

### **Le nouveau crédit d'impôt américain sur la capture du carbone**

Aux États-Unis, le budget 2018 a créé une forte incitation à la séquestration du carbone : la séquestration géologique d'une tonne de CO<sub>2</sub> ouvre le droit à un crédit d'impôt de 50 \$, les autres utilisations du CO<sub>2</sub> sont accompagnées d'un crédit d'impôt de 35 \$ par tonne. Ce système s'applique aussi bien pour le CO<sub>2</sub> capturé sur des installations énergétiques ou industrielles que pour celui qui est retiré directement de l'atmosphère. S'il est insuffisant pour permettre à la capture et la séquestration du carbone d'atteindre son seuil de rentabilité, ce système devrait aider à de nombreux projets à s'en rapprocher. Ce crédit d'impôt est aussi original par la variété de ses soutiens, réunissant à la fois climatosceptiques et activistes environnementaux, républicains et démocrates, producteurs de charbon, syndicats et ONG.

Source : MIT Technology review

ENCADRÉ 3

• **LA VOIE RÉGLEMENTAIRE** • En l'absence de rationalité économique, les régulateurs peuvent être tentés d'imposer la capture et la séquestration du carbone aux entreprises. Un premier exemple de cette stratégie peut être trouvé en Australie avec les projets gaziers de Gorgon et Wheatstone : le gouvernement d'Australie Occidentale a autorisé la construction par Chevron de ces installations



à condition que 80% du CO<sub>2</sub> retiré du gaz soit capturé et séquestré.

Cette initiative se substitue à un prix du carbone : le système de compensation obligatoire de l'État d'Australie Occidentale a été aboli en 2011 lorsque l'Australie a créé une taxe carbone mais cette taxe a été à son tour supprimée en 2014 par le gouvernement de Tony Abbott. Chevron n'a donc plus d'incitation financière pour réduire ses émissions.

Dans le cadre de cet accord, Chevron a investi 2,5 milliards de dollars (sur un investissement total de 88 milliards) pour capter 4 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an. La séquestration aura lieu dans un réservoir situé à 50 km des côtes et 2 km sous la surface au sein de la réserve naturelle de l'île de Barrow.

**L'approche réglementaire montre cependant des limites : le site de Gorgon fonctionne depuis mars 2016 mais la capture et la séquestration du carbone n'y est toujours pas opérationnelle et elle ne devrait finalement concernez que 40% des émissions.** Ce retard n'avait pas été prévu par l'accord dont l'application se trouve donc comprise. Deux enquêtes ont été ouvertes par l'agence de protection de l'environnement locale.

L'Union Européenne a adopté une approche plus souple : la directive CCS de 2009 n'impose pas la capture et la séquestration du carbone mais une étude de faisabilité est requise pour les nouvelles centrales thermiques de plus de 300 MW. Lors de la transposition de cette directive certains États-membres, dont la France et la Grande-Bretagne, ont décidé de n'autoriser que les projets « CCS-ready », c'est-à-dire remplissant les conditions (espace, accès, etc.) permettant de les équiper a posteriori pour la capture du carbone.

### 3 • UNE SOCIÉTÉ CIVILE DIVISÉE

Un autre obstacle pour les projets de capture et de séquestration du carbone est son image dans la société civile : cette filière est peu connue et suscite souvent des réactions de rejet.

• **ONG ET MONDE ACADEMIQUE** • Certains chercheurs voient dans la capture du carbone un « pacte faustien » (Spreng, 2007) qui peut mener à une impasse technologique et fait obstacle au développement des technologies bas-carbone comme les énergies renouvelables.

#### *Le projet de Yanchang, illustration des paradoxes de la CSC*

Yanchang, dans les régions charbonnières du nord de la Chine, doit accueillir le premier système de capture et de séquestration du carbone à l'échelle industrielle en Asie. Le projet est conduit par Yanshan Petroleum, une entreprise propriété du gouvernement provincial du Shaanxi et le 4<sup>e</sup> producteur de pétrole en Chine. Il doit être inauguré en 2018 et éviter le rejet de 410 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Yanchang illustre les paradoxes de la capture du carbone : comme 4 des 8 projets de CSC chinois, il est destiné à capturer les émissions d'usines de liquéfaction de charbon. L'installation de ces systèmes au niveau des usines n'élimine les émissions ni en amont (émissions fugitives de méthane lors de l'extraction du charbon, par exemple) ni en aval (lors de la combustion du carburant). Le procédé est par ailleurs très consommateur en eau (6 à 13 tonnes d'eau par tonne de carburant). De plus, le site de capture et le site de stockage sont séparés de 140 km, le transport se fait par camion : plus de 20 000 rotations seront nécessaires chaque année. Enfin, le CO<sub>2</sub> capturé est séquestré dans le champ pétrolifère de Qiaojiaowa où il est permis de stimuler la production d'hydrocarbures. La capture et la séquestration du carbone s'inscrit donc dans une chaîne de valeur très émettrice en gaz à effet de serre qu'elle contribue à pérenniser.

Source : Financial times

ENCADRÉ 4

Cette opposition s'est renforcée autour de 2010 lorsqu'il est devenu évident que les projets de CSC rencontraient de nombreuses difficultés - retards, surcoûts, abandons... (Markuson, 2012). Cette période correspond aussi à une baisse des moyens affectés à la recherche : **en Europe, les investissements publics et privés dans la recherche en matière de capture et de séquestration du carbone ont atteint leur maximum en 2010 (Fiorini, 2016)**. Aux États-Unis, le programme de recherche en matière de CSC du MIT (Carbon Sequestration Initiative) a fermé ses portes en juin 2016 après 16 années d'existence.

De même certaines ONG s'opposent radicalement à la capture du carbone, Greenpeace estime ainsi que la CSC est une perte de temps dangereuse « *Greenpeace opposes CCS as a dangerous distraction from the safe, secure 100 percent renewable energy future we all want* ». Cette position est cependant loin de faire consensus : d'autres organisations militent en faveur de la CSC (Bellona, ZERO...), même le WWF a parfois soutenu prudemment cette solution (WWF-UK en 2014 : « *Demonstrating carbon capture and storage is an urgent priority* »... « *but the Government shouldn't plan significant investments in new fossil fuel plants today on the assumption that CCS technology will be available at an affordable cost in the future to capture emissions when we simply don't know that yet* »).

• **COMMUNAUTÉS LOCALES** • La séquestration du carbone, avec son risque de fuite et de séisme induit, inquiète les communautés riveraines. Leur mobilisation a ralenti voire empêché des projets de capture et de séquestration du carbone et poussé certains gouvernements à renoncer à la séquestration sur la terre ferme au profit de la séquestration off-shore, plus coûteuse.

C'est ce qui est arrivé au projet de CSC proposé par Shell à Barendrecht (Pays Bas). Ce projet devait démarrer en 2011 et permettre le stockage de 10 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> en 25 ans. Il a été abandonné en 2010 en raison de l'opposition de la population locale. Suite à cet échec, le gouvernement néerlandais a décidé que tous les projets de stockage du CO<sub>2</sub> devraient se faire en mer. Des mouvements similaires ont eu lieu en Allemagne (Beeskow, Brandebourg) et aux États-Unis (Greenville, Ohio et Long Beach, Californie).

**L'acceptation des projets de capture et de séquestration du carbone par la population locale est donc un enjeu majeur pour le développement de cette filière.** Le sujet a fait l'objet de nombreuses études et publications scientifiques. Comme souvent pour les technologies émergentes, le premier facteur d'acceptabilité est la perception des bénéfices, en l'occurrence la poursuite de l'utilisation des énergies fossiles (L'Orange Seigo, 2014). Par conséquent, les populations fortement dépendantes des énergies fossiles sont plus favorables aux projets de capture et de séquestration du carbone, y compris quand elles se montrent par ailleurs hostiles aux efforts de réduction des émissions. Ainsi dans l'État charbonnier de l'Indiana 80 % des personnes interrogées soutiennent la capture et la séquestration du carbone. Cela n'empêche toutefois pas un effet NIMBY « *not in my backyard* » : 20 % des sondés favorables à la CSC changent d'avis si le projet se trouve à proximité de leur communauté (Krause, 2013).

Les technologies utilisées et surtout la source du CO<sub>2</sub> sont d'autres facteurs susceptibles d'affaiblir l'opinion publique. Une étude allemande montre ainsi que la CSC, perçue en moyenne de façon relativement neutre, est plus soutenue lorsqu'elle est pratiquée sur des centrales à biomasse ou des installations industrielles que sur des centrales à charbon. Le mode de transport et de stockage a aussi une influence : la valorisation pour la récupération assistée d'hydrocarbure, par exemple, est mieux perçue que l'injection dans des formations salines (Dütschke, 2016).

## 4 • LES COLLECTIVITÉS : ARBITRES INDÉCIS

La séquestration du carbone consiste à stocker en profondeur pour un temps indéterminé une substance dangereuse. Cette pratique, comme dans une moindre mesure le transport du carbone, a une empreinte territoriale importante ce qui fait des collectivités des parties prenantes cruciales.



A titre d'exemple, la directive européenne de 2009 sur la CSC a suscité des résistances en Allemagne où les Länder contestaient les sites retenus pour la séquestration du carbone. À la suite de ce mouvement, la loi allemande sur la CSC a reconnu le rôle des États fédérés en leur accordant un droit de veto sur les projets de séquestration du carbone - **une prérogative inédite dans le droit de l'environnement allemand qui ne donne en général pas de droit de regard aux autorités locales sur les projets d'infrastructures.** Plus généralement, l'expérience montre que l'intérêt des collectivités peut varier sensiblement en fonction de la technologie choisie et des éléments qui doivent être installés sur leur territoire. En particulier, elles semblent réticentes à accueillir le stockage du dioxyde de carbone surtout lorsque celui-ci n'est pas associé à la construction d'une nouvelle centrale thermique ou à une valorisation (par exemple pour la production d'hydrocarbures).

### *L'implantation du projet FutureGen aux États-Unis*

Annoncé en 2003, FutureGen était conçu comme la figure de proue du programme de « charbon propre » de l'administration Bush. Le projet devait démontrer la capture et séquestration du dioxyde de carbone en un lieu unique réunissant ainsi l'ensemble de la chaîne technologique sur une installation à l'état de l'art construite pour l'occasion. Ce projet ambitieux était doté d'un budget de 1,5 milliards de dollars, financé à 74% par l'État fédéral. L'implantation du projet a fait l'objet d'une procédure compétitive d'une durée de deux ans. Sept États se sont portés candidats et 12 sites ont été retenus. Une première sélection a conduit à 4 finalistes - 2 dans l'Illinois et 2 au Texas. Les deux États ont investi dans ce processus, notamment en mobilisant le grand public afin d'assurer la reconnaissance et l'acceptabilité du projet.

En janvier 2008, Mattoon dans l'Illinois a été choisi pour accueillir FutureGen. Mi-2009, le consortium en charge de FutureGen a fait l'acquisition du terrain à Mattoon. La pose de la première pierre de la nouvelle centrale était prévue pour 2010. En août 2010, le projet, désormais appelé FutureGen 2.0, a été restructuré en renonçant à la construction d'une nouvelle centrale électrique au profit du retrofitting d'une installation existante située à 280 kilomètres de Mattoon. Dans cette perspective, Mattoon n'aurait plus fourni que le site de stockage géologique du carbone ce qui a conduit la collectivité à retirer son soutien au projet. La recherche d'un nouveau site a retardé le projet d'une année supplémentaire et il a finalement été abandonné en 2015.

Source : Markussen, 2011

ENCADRÉ 5

## CONCLUSION

**La capture et la séquestration du carbone apparaît comme une solution séduisante pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et pourrait même contribuer à retirer de l'atmosphère du dioxyde de carbone qui s'y trouve déjà. Un avantage décisif de la CSC est que sa faisabilité technologique est prouvée et qu'elle dispose d'une longue expérience avec des projets remontants à plusieurs décennies. Son principal défaut est de rester trop chère et trop incertaine pour mobiliser réellement les acteurs économiques. La réticence des communautés locales et la prudence des collectivités compliquent souvent les projets et contribuent à obscurcir les perspectives pour une technologie qui reste, pour l'instant, un *deus ex-machina* incertain.**

N'HÉSITEZ PAS À RÉAGIR À CETTE FICHE, ET À NOUS SIGNALER RAPPORTS ET DONNÉES COMPLÉMENTAIRES VIA L'ADRESSE SUIVANTE :  
CONTRIBUTION@CLIMATE-CHANCE.ORG

## DOCUMENT 5

[suez.toutsurmesservices.fr](http://suez.toutsurmesservices.fr)

# Qualité de l'air : micro-algues et innovation au service des collectivités locales et des citoyens

Publié le 02 mai 2019



**Les émissions de CO2 dans l'atmosphère contribuent à augmenter l'effet de serre. La captation du CO2 à la source est donc un enjeu pour les collectivités. C'est à elles d'agir en intégrant cet enjeu de réchauffement climatique dans leurs politiques publiques, en lien avec la Santé, le Climat et l'Énergie.**

Dans cet objectif de réduire les impacts carbone, l'innovation est un levier indispensable au service des collectivités. Un partenariat entre SUEZ et Fermentalg, société spécialisée dans les micro-algues, a donné naissance au Puits de carbone, une innovation qui apporte une solution concrète pour améliorer la qualité de l'air. Grâce à l'utilisation de micro-algues, les molécules de CO2 se trouvent piégées et l'air purifié. Installé pour la première fois sur une Unité de Valorisation Energétique (UVE), c'est à Crétteil le 20 mars dernier a été inauguré sur UVE du Syndicat Mixte Intercommunal de Traitement des Déchets Urbains du Val-de-Marne (SMTDUM), un puits de carbone qui permettra de tester la capacité des microalgues à capter et à fixer les molécules de CO2 sur les fumées d'incinérateur. La biomasse issue du dispositif sera traitée à la station d'épuration du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) reliée à l'usine. Elle sera ensuite valorisée en énergie verte pour alimenter, par exemple, le réseau de gaz urbain.

Axel Urgin, Président du SMTDUM : « Améliorer la qualité de l'air tout en générant de l'énergie verte, voilà la vocation du puits de carbone. Nous sommes fiers de contribuer à la protection des ressources environnementales sur le site de VALO'MARNE, et réaffirmons notre engagement, aux côtés de la ville de Crétteil, pour l'amélioration de la qualité de vie sur notre territoire, et au-delà ».

Véritable modèle d'économie circulaire, le Puits de carbone vise à apporter une solution concrète et un levier efficace au service des industries et des collectivités locales pour répondre aux enjeux de la qualité de l'air et du changement climatique.

Après les expérimentations déjà menées ou en cours à Colombes avec le SIAAP, à Poissy ou encore à Paris, ce Puits de carbone vient donc compléter le dispositif expérimental proposé par SUEZ pour réduire l'impact carbone et dans une dynamique d'économie circulaire des territoires.

## DOCUMENT 6

*ladepeche.fr*

# Quand l'air pollué se transforme en énergie propre

Publié le 11/07/2018

**Le saviez-vous ? Il est désormais possible de transformer le CO2 en énergie verte, grâce au principe du “puits de carbone”. Le groupe Suez a en effet imaginé, en partenariat avec la société Fermentalg, un système permettant de stocker le carbone à l'aide de microalgues.**

Après les algues comestibles, voici les algues productrices d'énergie. Les habitants d'Occitanie connaissaient déjà le fameux Bloom, tout premier cultivateur d'intérieur de spiruline fraîche conçu par la start-up Alg & You, basée à Castanet-Tolosan (31), qui ambitionne d'inviter les algues alimentaires dans les assiettes des consommateurs. Mais les algues - sous une toute autre forme, bien entendu - peuvent également être utilisées de façon très différente, pour produire de l'énergie verte tout en réduisant les gaz à effet de serre. Le concept a été développé par le groupe Suez, en partenariat étroit avec la société Fermentalg, basée à Libourne. Le principe est à la fois simple et hautement technologique. Concrètement, des microalgues unicellulaires sont mises en culture dans un contenant rempli d'eau. Le processus de photosynthèse fait alors son œuvre et les algues captent le CO2 présent dans l'atmosphère. Elles se multiplient de façon continue, en formant une biomasse régulièrement évacuée par le biais du réseau d'assainissement jusqu'à une station d'épuration. Cela permet d'augmenter la production de biogaz destiné à être ensuite valorisé en biométhane.

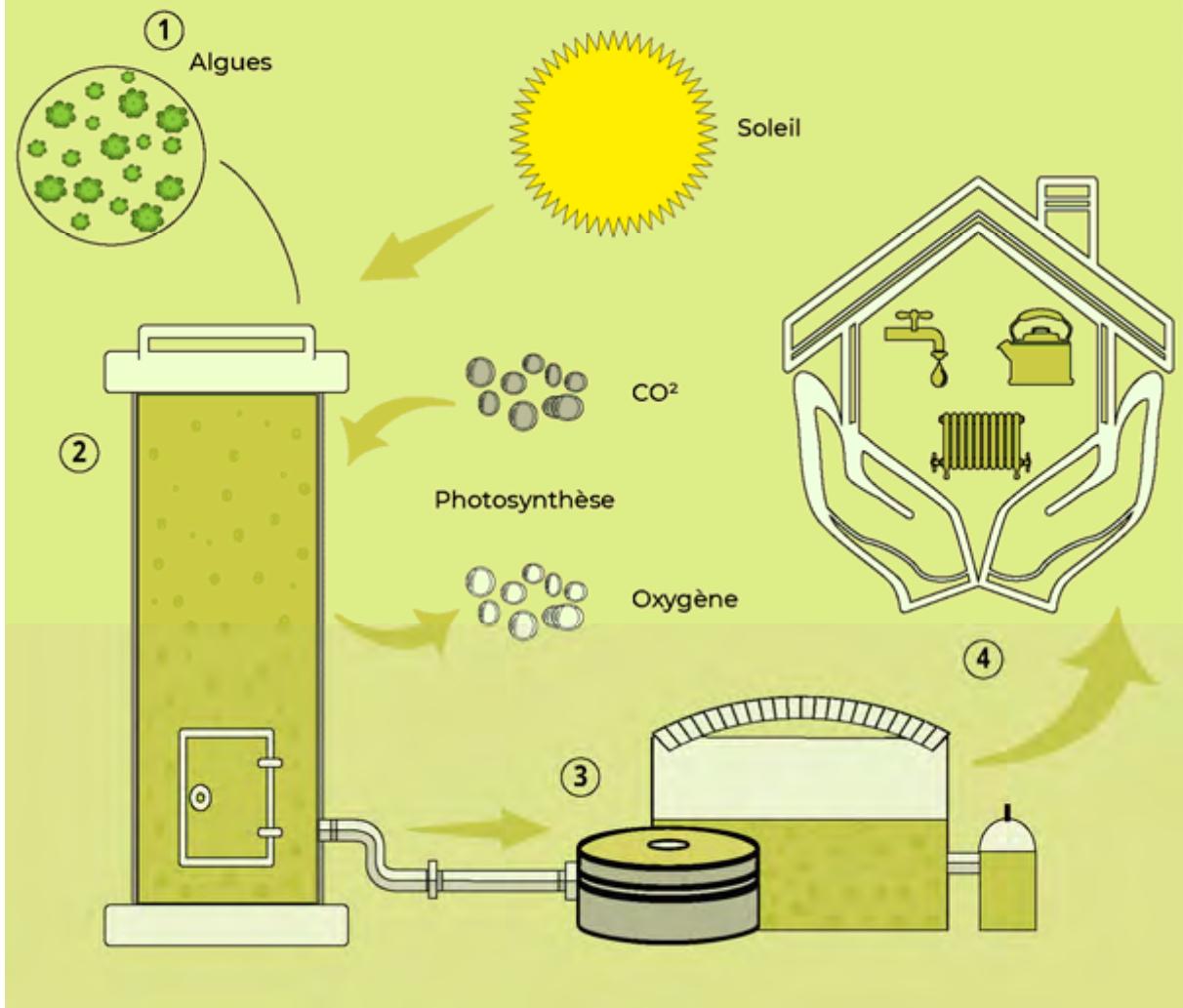
Au-delà de la théorie, cette nouvelle technologie dite des “puits de carbone” est d'ores et déjà expérimentée dans deux sites pilotes. Le premier a été installé dès 2016 dans la station d'épuration du SIAAP (Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne), à Colombes, dans les Hauts-de-Seine. Il permet de capter chaque année environ une tonne de CO2. L'équivalent d'un aller-retour Paris- Washington en avion ! Le second puits de carbone “pilote” a été implanté l'an dernier place d'Alésia, à Paris. Que ce soit en milieu urbain ou industriel, cette innovation, qui reproduit et amplifie les effets d'une forêt, pourrait permettre d'absorber, selon son utilisation, entre 1 et 10 000 tonnes de CO2. Un véritable levier d'action pour les collectivités territoriales et les grandes entreprises confrontées, elles aussi, aux effets du changement climatique.

# PUITS DE CARBONE

D

## COMMENT LE CO<sub>2</sub> EST TRANSFORMÉ EN ÉNERGIE VERTE ?

Des microalgues ① unicellulaires sont mises en culture dans un contenant rempli d'eau ②. Par photosynthèse, ces algues captent le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère. Elles se multiplient en continu et forment ainsi une biomasse régulièrement évacuée ③ via le réseau d'assainissement jusqu'à une station d'épuration ④. Hautement méthanogène, cette biomasse permet d'augmenter la production de biogaz destiné à être valorisé en biométhane.



# BIOMASSE ÉNERGIE ET PRODUITS BIOSOURCÉS

RECUEIL DE PROJETS DE R&D



**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie

# ALGOSTEP



Appel à projets : BIP 2015

Partenaires :

- GLS (78) [PME]
- Université de Nantes – GEPEA – AlgoSolis (44) [laboratoire public]
- Alganact (14) [PME]

Coût total : 660 k€

Aide ADEME : 337 k€

## Développer une nouvelle filière de production de microalgues à partir d'eaux usées



### CONTEXTE ET ENJEUX

En France, la culture de microalgues est pour l'instant surtout réalisée à petite échelle sur des sites dédiés à cette production. Les coûts de production et les consommations d'eau et de nutriments restent des verrous pour le développement de cette industrie. En parallèle, malgré les améliorations apportées aux stations d'épuration pour les rendre plus vertueuses, elles restent des charges financières et polluantes et pour les collectivités et les industriels.

**Or il est possible de développer des synergies en associant de façon positive le traitement des eaux usées, la culture de masse des microalgues, et la valorisation optimisée de la biomasse produite.** Ce principe d'économie circulaire permettrait de repenser complètement la filière de traitement des eaux usées, en produisant notamment une valeur ajoutée financière et environnementale. Cependant, des **verrous scientifiques, technologiques et réglementaires** restent à débloquer.

### OBJECTIFS

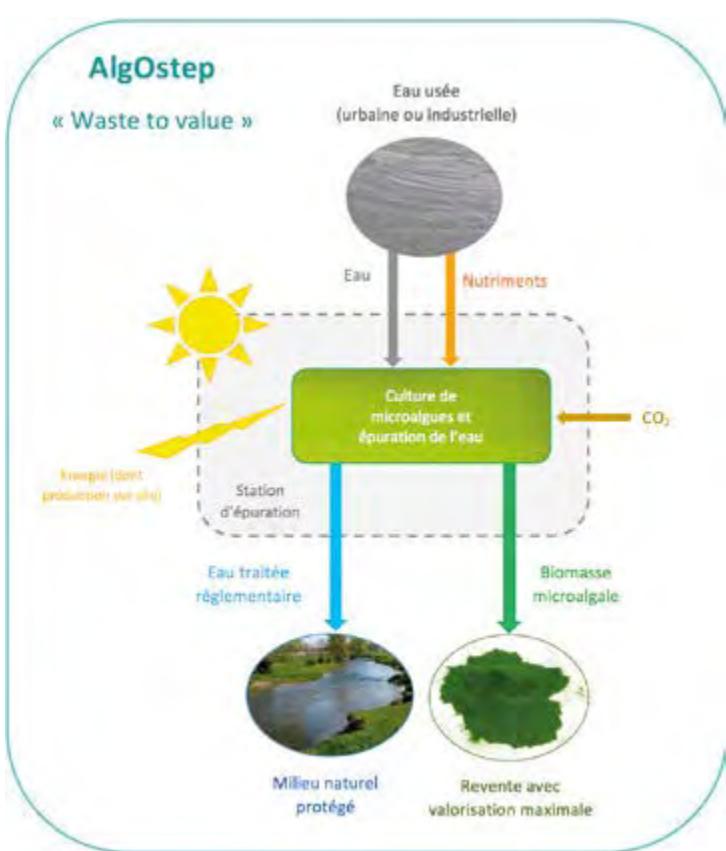
Le projet vise à **développer une nouvelle filière de production de microalgues à partir d'eaux usées urbaines ou industrielles**, en développant une vision intégrée ayant pour objectifs la **valorisation de la biomasse, l'élimination intensive de polluants** aux niveaux réglementaires et l'obtention d'une **rentabilité globale du système**.

### DÉROULEMENT

Le programme de travail s'articulera autour des tâches suivantes :

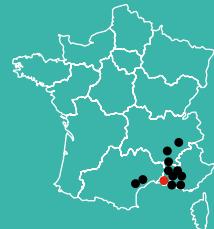
- mise au point d'un ou plusieurs procédés (brevetés le cas échéant) de culture de microalgues sur eau usée, associés à l'épuration de l'eau aux niveaux réglementaires : évaluation de différentes technologies de culture, optimisation des conditions de culture à l'échelle laboratoire et préindustrielle;
- étude de la valorisation de la biomasse microalgale produite, par mise au point de procédés d'extraction et de bioraffinage des microalgues de manière à en extraire le meilleur potentiel marché et à rendre le système économiquement viable (dans le respect du cadre réglementaire);
- études d'ingénierie pour l'industrialisation (conformité normative, réponse aux exigences des maîtres d'ouvrage);
- modélisation technico-économique systématique des résultats obtenus pour envisager le déploiement de la nouvelle filière développée;
- analyse de cycle de vie de la nouvelle solution.

L'industrialisation fera l'objet d'un autre projet le cas échéant.



AlgoSolis

## Valorisation biologique des fumées industrielles pour une chimie verte



### CONTEXTE ET ENJEUX

Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) produit par les activités anthropiques représente à lui seul 68% des émissions totales de gaz à effet de serre (Maeda et al., 1995) et participe aux changements climatiques de la planète (Sakai et al., 1995; Stewart et al 2005). Les Nations Unies ont fixé en 1997 lors du protocole de Kyoto, un objectif une réduction des émissions de  $\text{CO}_2$  de 5,2% sur 15 ans (basé sur les émissions de 1990). Pour atteindre cet objectif, la France avait prévu de mettre en place une « Taxe carbone » en janvier 2010, à l'instar de plusieurs nations comme la Finlande, le Danemark, la Norvège, l'Australie ou la Suisse. C'est dans ce contexte (faire payer le  $\text{CO}_2$  17 €/tonne) que la première phase de VASCO fut réalisée mais la mise en œuvre de cette « taxe carbone française » a été abandonnée au cours de l'année 2010. La réduction de son empreinte carbone d'environ 15% entre 1990 et 2011 a principalement été acquise grâce à des améliorations de rendement des procédés de combustion.

L'enjeu majeur est de contribuer à la réduction des émissions de  $\text{CO}_2$  industriel dans l'atmosphère, par la biofixation de ce gaz ainsi que d'autres rejets gazeux à fort impact environnemental ( $\text{NO}_x, \text{SO}_x$ ) par une culture algale et d'évaluer la valorisation économique de la biomasse produite.

### OBJECTIFS

Le programme de recherche appliquée « Vasco2 » vise à valider des procédés de production de microalgues et de biocarburants par une valorisation des fumées industrielles.

L'ambition de l'ensemble des partenaires est de contribuer ainsi à la transition énergétique par l'innovation en testant une solution inédite de production de biomasse basée sur le recyclage biologique du  $\text{CO}_2$  industriel.

### DÉROULEMENT

Après une première année de recherche sur le site de l'Ifremer à Palavas en 2015, « Vasco2 » entre dans une phase d'expérimentation préindustrielle en milieu réel, au cœur de la ZIP de Fos qui se déroulera jusqu'à fin 2018.

Pour conduire ces tests, un bassin de culture de 160  $\text{m}^2$  a été installé dès le mois de septembre 2016 sur le site de Kem One, puis deux autres de 10  $\text{m}^2$  seront implantés sur les sites d'ArcelorMittal et de Solamat-Merex au printemps 2017. Des microalgues y seront cultivées, récoltées, concentrées puis transformées en biobrûl. Le biobrûl sera alors raffiné jusqu'à l'obtention d'un biocarburant.

Jusqu'à fin 2018, plusieurs paramètres seront étudiés : la dissolution des fumées dans l'eau des bassins, la composition de la biomasse récoltée, la transformation par liquéfaction hydrothermale des microalgues en biobrûl ainsi que le raffinage qui sera comparé avec celui utilisé pour des pétroles conventionnels.

Une évaluation économique, sociale et environnementale de l'ensemble du programme Vasco2, ainsi que l'analyse du cycle de vie, seront également réalisées dans la perspective de la structuration d'une véritable filière d'économie industrielle.

À l'issue de cette phase préindustrielle, Vasco2 pourra alors envisager la mise en œuvre d'un démonstrateur de taille industrielle, dernière étape avant une production à grande échelle de substituts au pétrole et de biocarburants de 3<sup>e</sup> génération dont un des bénéfices sera, au-delà de la contribution à la transition énergétique, de réduire les rejets atmosphériques de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{NO}_x$  de la zone industrielle-portuaire de Fos.

Appel à projets : **BIP 2014**

Partenaires :

- **Grand port maritime de Marseille (13)** [établissement public]
- **COLDEP (34) [PME]**
- **Helio Pur Technologies (84) [PME]**
- **Ifremer (34) [EPIC]**
- **CEA (38) [EPIC]**
- **KEM ONE (13) [PME]**
- **ArcelorMittal (13) [GE]**
- **Solamat Merex (13) [GE]**
- **TOTAL (13) [GE]**
- **LyondellBasell (LYB) (13) [GE]**
- **INOVERTIS (26) [PME]**
- **Conseil de territoire Istres Ouest Provence (13) [EPCI]**

Coût total : **2 M€**

Aide ADEME : **1,1 M€**

# ALGORAFF



Appel à projets : **BIP 2013**

**Partenaires :**

- **AlgoSource** (44) [PME]
- **GEPEA** (44)  
[laboratoire public]
- **GeM** (44)  
[laboratoire public]
- **Institut Pascal** (63)  
[laboratoire public]

Coût total : **735 k€**

Aide ADEME : **411 k€**

## Développement de produits biosourcés compétitifs et durables grâce au bioraffinage de microalgues



### CONTEXTE ET ENJEUX

La Spiruline consommée en France sert essentiellement à la production de compléments alimentaires et est à 90% importée du fait d'un coût de production local trop élevé, de l'ordre de 40 k€/tonne en 2013. Il existe cependant **de nombreuses autres applications aussi bien alimentaires** que non alimentaires : colorants alimentaires (bleu), huiles servant de base en cosmétique, éliciteurs (molécules déclenchant une réaction) de croissance de plantes, protéines végétales, polysaccharides fonctionnels (additifs alimentaires par exemple), émulsifiants, mais aussi des liants hydrophobes pour le bâtiment et les bitumes (à partir des résidus d'extraction).

L'utilisation de microalgues, comme la spiruline, pour la production de molécules d'intérêt présente plusieurs avantages :

- elle n'utilise pas de terres agricoles;
- sa productivité à l'hectare est souvent supérieure aux productions agricoles classiques (colza, maïs);
- sa culture peut utiliser de l'eau de mer ou saumâtre ou encore recyclée.

Cependant, **pour obtenir des produits à base de spiruline à des prix abordables, une valorisation totale de la biomasse algale est nécessaire**, ce qui signifie que même les résidus issus de la récolte du composé principal doivent être utilisés.

### OBJECTIFS

Le projet Algoraff vise à **remplacer des produits fabriqués à l'aide de matières premières fossiles par des produits issus de microalgues par bioraffinage**. Par analogie au raffinage du pétrole, le bioraffinage consiste à convertir 100 % de l'intrant (ici la spiruline) en produits d'intérêt.

Les marchés applicatifs visés sont la cosmétique, les intermédiaires chimiques, les engrains, l'alimentation humaine et animale, la pharmaceutique, les matériaux pour la construction et l'énergie.

**Pourquoi la Spiruline ?**

- Les marchés existants (ou identifiés) peuvent absorber des quantités significatives de produits issus de la spiruline, si les coûts sont adéquats.
- Les procédés de fabrication sont maîtrisés.
- Il existe un savoir-faire embryonnaire de culture de cette microalgue en France, qui peut être développé, rationalisé, et diffusé, notamment dans le monde agricole.
- La culture de spiruline peut encore être optimisée, avec par exemple l'utilisation d'intrants C, N, P, K et de chaleur issus d'effluents industriels ou de méthanisation. Une production maîtrisée et optimisée procurera ainsi à terme **un avantage compétitif à la production Française sur son marché**.

### PREMIERS RÉSULTATS

La mise en place de protocoles de culture originaux d'*Arthrospira platensis* a permis de réaliser une orientation métabolique de cette dernière vers la production de différentes molécules à forte valeur ajoutée. Il est ainsi possible de réaliser la production d'une biomasse adaptée aux besoins du marché. De nouveaux procédés ont également été mis au point afin de permettre une extraction plus sélective des composés d'intérêt et d'assurer par la suite une purification plus simple et donc moins onéreuse. Ces nouveaux procédés pourront permettre, à terme, la production de nouveaux ingrédients/produits.



© AlgoSource