

Bilan des gaz à effet de serre dans le bassin de la Seine

Les gaz à effet de serre (GES) sont aujourd'hui considérés comme les principaux contributeurs au phénomène du réchauffement climatique planétaire. Leur réduction représente ainsi un des enjeux principaux du défi de la transition écologique et énergétique de la société. Si les GES sont nombreux, trois d'entre eux représentent aujourd'hui l'immense majorité de ces gaz, et font donc l'objet d'une attention toute particulière par les scientifiques : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O).

Sur le bassin de la Seine, territoire particulièrement anthropisé, les émissions de ces gaz n'ont cessé d'augmenter depuis le milieu du XX^{ème} siècle, dans de nombreux secteurs du socio-écosystème tels que les transports, le chauffage, l'industrie ou l'agriculture. Les chercheurs du PIREN-Seine ont donc mené sur plusieurs années un travail minutieux de recherche, de caractérisation et d'évaluation de ces émissions, afin de dégager des pistes pour travailler à la réduction de ces GES. Car du fait de l'omniprésence de ces gaz dans de nombreux processus naturels se déroulant dans les sols agricoles ou forestiers ainsi que dans les eaux de surface ou souterraines, il demeure difficile d'orienter correctement les efforts sur tel ou tel secteur.

Les chercheurs ont ainsi proposé des scénarios à l'horizon 2050 de réduction des GES dans le domaine agricole. L'objectif à terme est de prendre en compte tous les secteurs du bassin, en s'appuyant sur un large éventail de travaux effectués par ailleurs. Constituant l'un des principaux enjeux environnementaux du XXI^{ème} siècle, la réduction des émissions de GES ne pourra en effet s'opérer en se concentrant sur une unique source, et requiert au contraire une vision globale, intégrant un ensemble de mutations nécessaires de nombreux secteurs de la société.



La phase 8 du PIREN-Seine

Depuis le 1^{er} janvier 2020, le PIREN-Seine est entré dans sa phase 8, qui s'achèvera le 31 décembre 2023. Pour répondre aux enjeux environnementaux du bassin de la Seine, le programme s'est organisé en 6 axes de travail, qui ont chacun pour objectif de répondre aux attentes des acteurs de gestion de l'eau face aux défis du changement climatique, de la transition écologique de la société et de l'avenir de la ressource.

AXE 1 : Trajectoires du bassin, de ses tissus urbains et agricoles, et de ses territoires.

AXE 2 : Fonctionnement du bassin soumis à des extrêmes hydro-climatiques.

AXE 3 : Construction de la qualité des milieux aquatiques conciliant risques hydrologiques et biodiversité.

AXE 4 : Ambitions et enjeux pour la Métropole en 2024 et après.

AXE 5 : Dynamique des contaminants : de la compréhension des processus au métabolisme territorial.

AXE 6 : Transfert de connaissances et mise à disposition des données.



D'où viennent les GES du bassin de la Seine ?

Réaliser un bilan complet des émissions de GES sur le bassin de la Seine n'est pas une mince affaire. La multiplicité des sources oblige en effet à considérer des contributions aussi diverses que celles des transports, de l'industrie, du chauffage, de l'agriculture, ou encore de l'hydrosystème ; autant de secteurs qui nécessitent l'association de plusieurs méthodes de suivi, d'échantillonnage et de calcul.

Des méthodes croisées pour des sources multiples

Les chercheurs du programme ont ainsi réalisé de nombreuses campagnes de prélèvement entre 2010 et 2016, sur 23 stations situées sur les axes de la Marne et de la basse Seine, ainsi que sur d'autres plus petits cours d'eau du bassin, pour évaluer les contributions respectives en CO₂, N₂O et CH₄, des différents secteurs de l'hydrosystème.

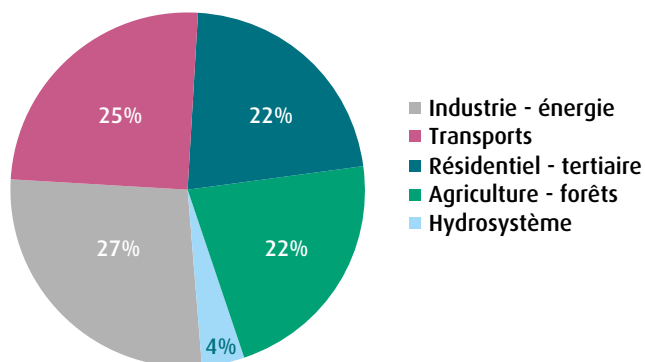
Concernant la contribution de l'agriculture et de la forêt, les émissions de GES ont fait l'objet de nombreuses études au PIREN-Seine depuis 2007, associant mesures de terrain sur des parcelles instrumentées et modélisation numérique.

- Les émissions de N₂O y sont considérées comme principalement issues des terres arables, des prairies et des forêts.
- Le CH₄ provient quant à lui essentiellement de l'élevage et de la gestion des déjections animales.
- Enfin, le CO₂ est produit par les combustibles fossiles nécessaires au travail des sols via les machines agricoles, au chauffage des bâtiments de ferme, et à la fabrication et au transport des intrants tels que les fertilisants et pesticides, ainsi que la nourriture pour le bétail. La séquestration du carbone par les sols a également été prise en compte dans les estimations des chercheurs.

Pour les contributions du secteur urbain, qui englobent le secteur industriel et énergétique, le secteur de la consommation résidentielle et tertiaire (chauffage principalement) et le secteur des transports, les émissions ont été estimées à partir des données du CITEPA et de celles de la Région Île-de-France.

Grâce à l'ensemble de ces approches, les scientifiques du programme ont ainsi pu effectuer le bilan le plus complet possible des émissions de GES sur le bassin, exprimées en équivalent en CO₂ (CO₂ eq).

Part d'émission de GES dans le bassin de la Seine par secteur



60 000 kilotonnes de CO₂ eq par an : à chaque secteur sa contribution

D'après les résultats de ces recherches, il apparaît qu'à l'exception de l'hydrosystème, les GES sont émis à des niveaux relativement semblables entre les différents secteurs. Sans surprise, le secteur industriel arrive en tête, avec environ 27% des émissions en équivalent CO₂. Arrive en second celui des transports, avec 25% des émissions. Les secteurs résidentiel-tertiaires et agricoles contribuent tous deux à 22% des émissions de GES. La contribution de l'hydrosystème est finalement faible, à hauteur de 4%. En tout, ce sont près de 60 000 kilotonnes de GES en équivalent CO₂ qui sont émises chaque année sur le bassin.

Ces résultats indiquent en premier lieu l'importance du secteur urbain dans la contribution des émissions de GES sur le bassin. Celui-ci accueille en effet l'agglomération parisienne et ses 12 millions d'habitants, et regroupe 40% de l'industrie nationale. Les secteurs des transports et de l'industrie y sont donc surreprésentés. Mais les émissions issues du secteur agricole ne sont pas pour autant à négliger. Ce dernier, avec une contribution de 22%, soit presque un quart des émissions, demeure ainsi un contributeur particulièrement important en GES, notamment en CH₄ et en N₂O. Pour les scientifiques du programme, il apparaît évident que la bataille pour la réduction des émissions de GES doit se mener simultanément dans tous les secteurs.

Si la lutte contre le réchauffement climatique passe par une réduction des émissions de GES dans tous les secteurs de la société, les prismes de recherche du PIREN-Seine depuis plus de 30 ans restent avant tout focalisés sur l'eau, ses cycles et son usage. Dans les secteurs particuliers de l'agriculture et de l'hydrosystème, c'est donc toute l'expertise du programme qui entre en jeu pour proposer une vision globale, adaptée aux enjeux de réduction des émissions.

La part de l'hydrosystème : vers une meilleure compréhension du bassin

Avec ses 4% de participation au GES émis sur le bassin de la Seine, essentiellement (95%) sous forme de CO₂, l'hydrosystème n'apparaît pas comme un secteur particulièrement primordial face aux enjeux de réduction de ces émissions, sans être pour autant sans importance. Mais l'étude des flux de CO₂ dans l'hydrosystème du bassin de la Seine a permis d'en affiner la connaissance scientifique. Il a ainsi été démontré que contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce sont les plus petits cours d'eau qui contribuent le plus aux émissions, du fait de leur contribution élevée à la surface totale de drainage et d'une sursaturation plus importante en CO₂, et donc d'un dégazage vers l'atmosphère. La contribution importante en carbone inorganique des eaux souterraines et des zones sous-racinaires dans les cours d'eau les plus en amont semblent être en cause, plus que la respiration des organismes qui y vivent. Cette contribution en CO₂ des eaux de surface vers l'atmosphère diminue alors progressivement au fur et à mesure que les rivières s'agrandissent en confluant vers l'aval. Cependant, en entrant dans l'estuaire, les processus biologiques de respiration deviennent importants, et les émissions de CO₂ y repartent donc à la hausse. L'estuaire, qui représente 15% de la surface totale du bassin, contribue ainsi pour 23% de l'ensemble des émissions aquatiques.

La contribution de l'agriculture

Les GES d'origine agricole, une trajectoire historique qui se poursuit

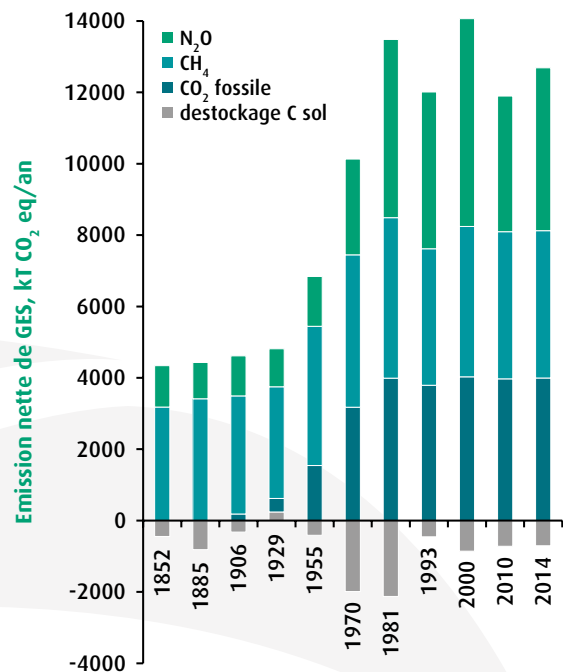
Contrairement au secteur urbain, qui émet quasi exclusivement du CO₂ (à 98%), le secteur agricole rejette à la fois du CO₂, du CH₄ et du N₂O, dans des proportions relativement similaires, respectivement 31%, 32% et 37%. Mais cette distribution particulière n'a pas toujours été historiquement la même sur le bassin, et les études menées sur le temps long ont permis de reconstruire l'évolution des émissions du secteur agricole depuis un siècle et demi.

Alors que la quantité de CH₄ émise sur le bassin de la Seine est restée relativement stable depuis 1850, celles liées au CO₂ et au N₂O ont explosé depuis les années 1950, pour se stabiliser dans les années 1990 au niveau qu'elles conservent aujourd'hui. Pour interpréter cette évolution, il faut comprendre d'où viennent précisément chacun de ces trois gaz dans le milieu agricole.

Les émissions de CH₄ sont causées pour la plus grande part par la fermentation entérique des animaux d'élevage. Et si le cheptel national a fortement augmenté depuis un siècle, il s'est également réparti de manière très inégale sur le territoire français, du fait de la spécialisation de l'agriculture. Ainsi, si le bassin de la Seine s'est spécialisé dans la culture céréalière, l'élevage est devenu massif en Bretagne, en Normandie et dans les Pays de la Loire, entraînant une très forte augmentation des émissions de CH₄ dans ces territoires.

Les quantités de N₂O et de CO₂ ont quant à elles directement suivi l'industrialisation de l'agriculture, le premier découlant directement des fertilisants azotés de synthèse épandus dans les champs, et le second étant dû à la motorisation des engins agricoles, au chauffage des bâtiments d'élevage et au transport du foin. Si la séquestration du carbone a permis, dans les années 1970 et 1980 de limiter la contribution nette du CO₂, le niveau de séquestration actuel ne permet pas, et ne permettra sans doute jamais de compenser les émissions de GES du système agricole d'aujourd'hui.

Emissions des GES d'origine agricole dans le bassin de la Seine



Sur la trajectoire de temps long, le constat est sans appel : alors que le bassin agricole n'émettait guère plus de 4 000 kilotonnes d'équivalent CO₂ en 1852, dont plus de 3 000 de CH₄, et quelques centaines de N₂O, les émissions de CO₂ étant alors négligeables, il en libère environ 3 fois plus aujourd'hui, soit près de 13 000 kilotonnes par an, dont plus de 4 000 de CO₂ et près de 5 000 de N₂O.

Les gaz à effet de serre dans les gravières de la plaine de la Bassée

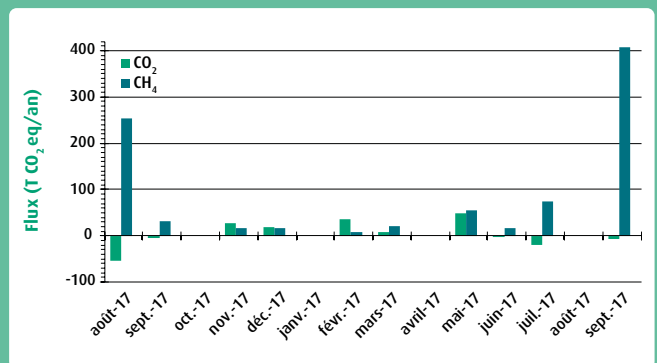


Chambre flottante sur la gravière de la Cocharde, pour la mesure des flux de CO₂ et CH₄ à l'interface eau-atmosphère.

Outre son investissement pour livrer une vision d'ensemble du bassin, le PIREN-Seine s'attache à améliorer la compréhension du fonctionnement biogéochimique d'écosystèmes bien particuliers : les gravières. Deux gaz à effet de serre, le CO₂ et le CH₄, sont étudiés à l'interface eau-atmosphère sur la gravière de la Cocharde, dans la Réserve Naturelle de la Bassée, par la méthode de la chambre flottante.

D'après les premiers résultats, la gravière est une source nette de CO₂ et de CH₄ vers l'atmosphère, avec un flux moyen de 9 T CO₂ eq/an pour le CO₂ et de 63 T CO₂ eq/an pour le CH₄, des valeurs comparables à celles relevées dans des lacs naturels peu profonds. Si ces contributions restent minimes au regard des multiples sources de GES sur le bassin, leur étude permet

de mieux comprendre ces environnements lacustres artificiels, et en particulier l'activité métabolique dans l'eau et dans les sédiments.



Flux de gaz mesurés par chambre flottante août 2017 et septembre 2018, pour le CO₂ (en vert) et le CH₄ (en bleu). Les flux positifs correspondent à une émission de gaz par la gravière, les flux négatifs à une consommation.

Deux scénarios prospectifs pour le futur du bassin

L'identification des sources des émissions de GES permet aux chercheurs de se livrer à des exercices prospectifs sur les futurs possibles du bassin de la Seine. Depuis plusieurs années, ils travaillent ainsi à la construction de deux scénarios agricoles distincts, proposant deux visions contrastées de l'avenir du territoire.

Dans le premier scénario, le modèle agroalimentaire poursuit son ouverture aux marchés mondiaux et sa spécialisation (O/S), tout en intégrant des réglementations agro-environnementales. Le nombre et la taille des cheptels et leur spécialisation géographique augmentent au niveau national. Le bassin de la Seine étant plutôt spécialisé dans la production céréalière, les émissions de CH₄ et CO₂, principalement dues à l'élevage intensif, resteraient donc limitées, mais au prix d'une augmentation considérable au niveau national.

Le second scénario propose une transition vers une agriculture biologique à destination du marché local, une reconexion polyculture-élevage et un régime alimentaire réduisant de moitié la consommation de protéines animales : c'est le scénario Autonome-Reconnexion-

Demitarrien (A/R/D). Le retour des cheptels dans le bassin de la Seine y entraîne une légère augmentation des émissions de CH₄, mais une diminution au niveau national. Grâce à l'arrêt des fertilisants de synthèse et à la limitation du transport du fourrage, les émissions de N₂O et de CO₂ diminuent fortement sur le bassin et l'ensemble du territoire national.

Au final, le scénario A/R/D émettrait 36% de GES d'origine agricole en moins sur le bassin de la Seine et 50% de moins à l'échelle nationale, quand le scénario O/S ne permettrait une réduction que de 15% au niveau du bassin, et une augmentation de 45% au niveau national. Mais la diminution des GES ne pourra reposer sur la seule transition du modèle agricole. C'est pourquoi les scientifiques cherchent désormais à connecter ces scénarios agricoles avec ceux issus d'autres travaux consacrés au métabolisme territorial, avec l'objectif de pouvoir proposer les scénarios les plus complets possibles, tenant compte de l'occupation humaine du bassin, des transports écologiques et de l'évolution des usages de l'eau dans un contexte de climat changeant.



Pour plus d'informations, rendez-vous sur www.piren-seine.fr

Contact : alexandre.delomenie @arceau-idf.fr

Cellule transfert du PIREN-Seine
4 place Jussieu
Case 105
75005 Paris

		2000-2014	Scénario O/S	Scénario A/R/D
France 540498 km ²	kt CO ₂ eq/an	113940	165010 (+45%)	56680 (-50%)
	% N ₂ O	28	23	25
	% CH ₄	49	57	58
	% CO ₂	22	20	17
Bassin de la Seine 69713 km ²	kt CO ₂ eq/an	12910	10870 (-15%)	8250 (-36%)
	% N ₂ O	37	42	20
	% CH ₄	32	21	62
	% CO ₂	31	37	18

Les émissions de GES des 2 scénarios agricoles construits au PIREN-Seine

Sources bibliographiques : www.piren-seine.fr/fr/4_pages/bilan-ges



Crédits photos : Chambre flottante p.3 : PIREN-Seine
Autres : Domaine public

Edition : ARCEAU-IDF 2020 - www.arceau-idf.fr

Création graphique : id bleue (Sablé)
www.idbleue.com

ISSN : 2610-0916

Le **PIREN-Seine** est un programme de recherche interdisciplinaire dont l'objectif est de développer une vision d'ensemble du fonctionnement du bassin versant de la Seine et de la société humaine qui l'investit, pour permettre une meilleure gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau.

Cette fiche est éditée par la *Cellule transfert* du PIREN-Seine, animée par l'association ARCEAU-IDF.

Les partenaires opérationnels de la phase 8 du PIREN-Seine



Les partenaires scientifiques de la phase 8 du PIREN-Seine

