

OBJECTIF TERRE !

Environnement d'aujourd'hui,
recherches pour demain



Portefeuille de lecture

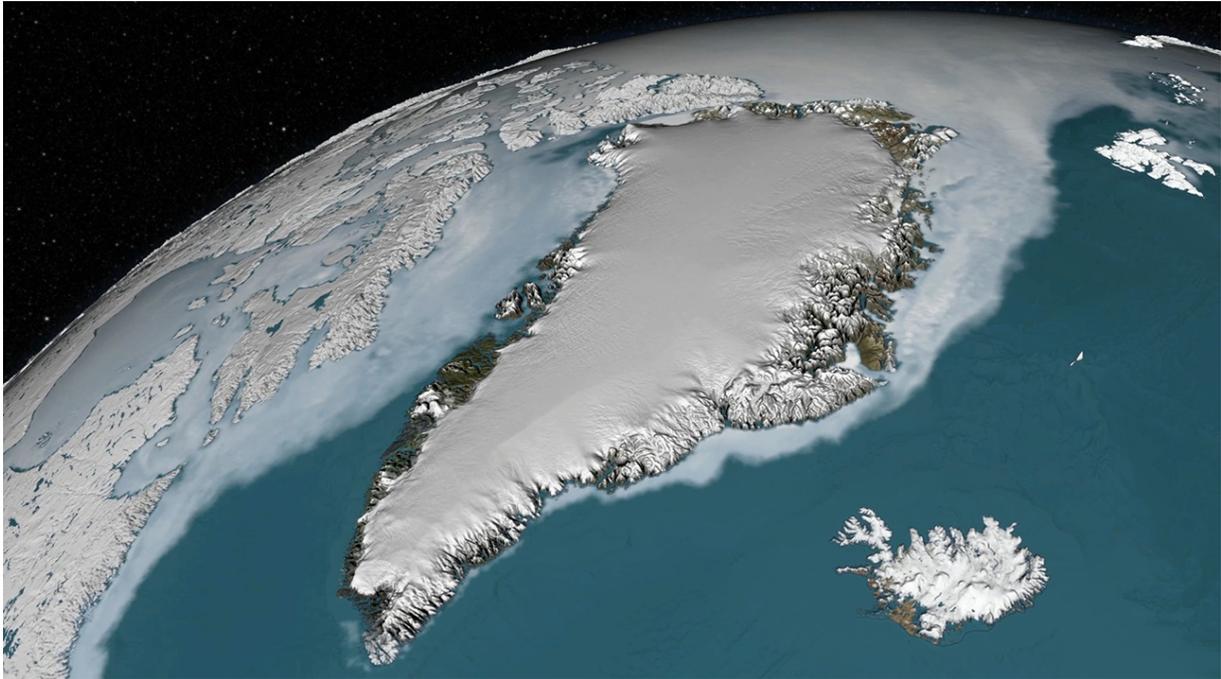
Désertification, disparition de populations,
fonte des glaces, élévations du niveau des
mers, pollution, maladie, famine ...
Le changement climatique et les effets qu'il
engendre nous concerne tous.
Chaque jour, les médias font état de la
situation catastrophique dans laquelle se
trouve notre planète. Face à ces nouveaux
défis, les scientifiques du monde entier
tentent de trouver des solutions. Celles-ci
pourraient notamment se trouver dans
l'utilisation de ressources dont nous
disposons, dont notre planète dispose encore.

Table des matières

<i>Les nuages jouent un rôle important dans les incertitudes des projections futures de la fonte de la calotte du Groenland</i>	5
<i>Des lentilles de glaces à l'intérieur du manteau neigeux au Groenland intensifient le ruissellement des eaux de fonte vers l'océan</i>	7
<i>La masse de glace du Groenland fond sept fois plus vite que prévu</i>	10
<i>Effets du réchauffement arctique sur les interactions organo-minérales du pergélisol aux rivières jusqu'à l'océan</i>	12
<i>L'océan mondial perd son souffle</i>	15
<i>La désoxygénation des océans et ses conséquences alarmantes pour nos sociétés</i>	18
<i>Planter mille milliards d'arbres ne va pas arrêter le changement climatique</i>	20
<i>Quels arbres pour la forêt de demain?</i>	22
<i>Web-documentaire interactif "La respiration microbienne des sols"</i>	24
<i>La plus grande communauté de grands dauphins côtiers d'Europe menacée par la pollution industrielle</i>	25
<i>Transition énergétique et économie circulaire</i>	28
<i>Développer l'Agriculture urbaine : l'exemple de l'aquaponie</i>	31
<i>Des LEDs intelligentes pour améliorer la composition des plantes à haute valeur ajoutée</i> .	34
<i>Une nouvelle matière plastique sur le point de révolutionner le secteur des emballages ?</i> 36	
<i>« Biocarburants », « carburants de synthèse », « kérosène vert » ou l'éloge de la diversité terminologique</i>	45
<i>Des pneus à base de pissenlits ?</i>	53
<i>La Spiruline, super aliment de demain</i>	54

Environnement d'aujourd'hui

Les nuages jouent un rôle important dans les incertitudes des projections futures de la fonte de la calotte du Groenland



De nouvelles recherches menées par des climatologues de l'Université de Bristol et de l'ULiège suggèrent que la représentation des nuages dans les modèles climatiques est aussi importante voire plus importante que les incertitudes liées à la quantité d'émissions de gaz à effet de serre lorsqu'il s'agit de projeter la fonte de la calotte glaciaire du Groenland.

Des recherches récentes montrent que la totalité de la calotte glaciaire du Groenland pourrait disparaître d'ici un millier d'années, élevant ainsi le niveau de la mer de plus de sept mètres si le réchauffement global dépasse 4°C pendant 1000 ans. Cependant, la plupart des projections futures concernant l'avenir de la calotte glaciaire du Groenland se concentrent sur l'impact de différents scénarios d'émission de gaz à effet de serre sur son évolution.

Une nouvelle étude publiée dans la revue *Nature Climate Change* montre, à l'aide du modèle MAR développé à l'ULiège, que la microphysique des nuages joue un rôle important en tant que gaz à effet de serre additionnel naturel et que, dans le cas de scénarios à fortes émissions, elle domine les incertitudes liées à la projection de la fonte de la calotte glaciaire. La différence de potentiel de fonte provoquée par les changements de nébulosité provient principalement de la capacité des nuages à contrôler le rayonnement infrarouge à la surface de la calotte glaciaire. Ils agissent comme une couverture, amplifiant potentiellement la fonte d'un facteur deux si les nuages deviennent deux fois plus épais « optiquement ».

Les incertitudes liées à la fonte des glaces du Groenland, dues aux nuages, pourraient représenter jusqu'à 40 000 gigatonnes de fonte supplémentaire en 2100. Cela équivaut à 1500 ans d'approvisionnement en eau domestique des États-Unis ou à une élévation du niveau de la mer de 11 cm. Stefan Hofer, docteur de l'Université de Bristol et post-doctorant au Laboratoire de Climatologie dirigé par Xavier Fettweis à l'ULiège, est l'auteur principal de la nouvelle étude. Xavier Fettweis : « Jusqu'à présent, nous pensions que les différences dans les projections modélisées de l'évolution future de la calotte glaciaire du Groenland étaient principalement déterminées par la quantité de nos futures émissions de gaz à effet de serre. »

Stefan Hofer : « *Cependant, notre étude montre clairement que les incertitudes dans nos projections sur la fonte du Groenland dépendent également de la manière dont nous représentons les nuages dans ces modèles (ici le modèle MAR).* » « *Jusqu'à la fin du 21e siècle, les nuages pourraient augmenter ou diminuer l'élévation du niveau de la mer provenant de la calotte glaciaire du Groenland de 11 cm.* » « *Le message principal de cette recherche est que les nuages sont la principale source d'incertitudes dans la modélisation de la fonte future du Groenland et de sa contribution à la hausse du niveau de la mer.* »

Stefan Hofer ajoute : « *Les observations des propriétés des nuages dans l'Arctique sont coûteuses et peuvent être difficiles. Il existe très peu d'observations à long terme sur les propriétés des nuages dans l'Arctique, ce qui rend très difficile la représentation des propriétés des nuages dans nos modèles climatiques comme le MAR de l'ULiège.* » « *La prochaine étape logique consisterait à augmenter le nombre d'observations à long terme des propriétés des nuages dans l'Arctique, qui pourront ensuite être utilisées pour améliorer nos modèles de climat et donc nos projections concernant l'élévation future du niveau de la mer.* »

Des lentilles de glaces à l'intérieur du manteau neigeux au Groenland intensifient le ruissellement des eaux de fonte vers l'océan



La capacité de rétention du manteau neigeux de la calotte du Groenland est menacée par la formation de lentilles de glaces épaisses. Ce phénomène qui tend à s'accroître avec le réchauffement climatique pourrait entraîner une hausse du niveau des mers plus rapide que ce que les modèles climatiques prévoient jusqu'ici. La fonte record de la calotte du Groenland cet été risque fort d'ajouter un coup d'accélérateur à ce phénomène, mis au jour par une équipe de chercheurs internationale, dont des scientifiques du Laboratoire de Climatologie (Unité de recherches SPHERES/Faculté des Sciences de l'ULiège). Cette recherche fait l'objet d'une publication dans le journal *Nature*.

Le manteau neigeux du Groenland est une mosaïque complexe de textures gelées composée de lacs d'eau de fonte qui parsèment sa surface, de neige qui tombe chaque hiver et de vieille neige compactée qui se comprime lentement en glace. Le manteau neigeux, capable jusque ici de "retenir" environ 50 % des eaux de fonte s'est transformé peu à peu ces dernières années en lentilles de glace imperméables, qui empêchent l'eau de fonte d'être emprisonnée dans le manteau neigeux et favorise ainsi désormais son déversement vers l'océan. Ce mécanisme, qui pourrait accélérer la hausse du niveau des mers, vient d'être mis au jour par une équipe de recherche dirigée par l'Université de Boulder (Colorado, USA) et à laquelle a pris part Xavier Fettweis, chercheur qualifié FNRS au Laboratoire de Climatologie (Unité de recherches SPHERES/Faculté des Sciences) de l'Université de Liège.

C'est en effectuant des échantillonnages lors d'une expédition menée en 2012 (précédent record de fonte avant 2019) que les scientifiques ont accidentellement découvert de grandes sections de lentilles de glaces dans des carottes de glace au lieu de retrouver de petites lentilles minces comme observé chaque été. Ces épisodes de fonte sont malheureusement de plus en plus fréquents au Groenland. En juillet 2012, la neige et la glace avaient fondu sur 97% de la surface de la calotte glaciaire, un événement qui n'avait plus été observé depuis 100 ans. Cet été, rebelote, après que la masse d'air qui a engendré la canicule fin juillet en Belgique a atteint le Groenland, la calotte a perdu

en un seul jour (1er août 2019) environ 13 Giga tonnes (13 000 000 000 000 kg) d'eau, ce qui représente le taux d'ablation le plus haut jamais observé jusqu'ici ! Intégrée sur tout l'été, l'anomalie de fonte en surface a représenté environ 350 Giga tonnes (350 000 000 000 000 kg) c'est-à-dire ce que prévoit le GIEC pour les étés des années 2050 dans le pire des scénarios climatiques.



A gauche : Les chercheurs analysent des carottes de glace prélevées en 2012. (Photo : Babis Charalampidis/Académie bavaroise des sciences et des sciences humaines, Allemagne). A droite : Des chercheurs se préparent à conduire une motoneige munie d'un radar pénétrant au sol pour mesurer l'étendue des dalles de glace du Groenland en 2013. (Photo : Karen Alley/CU Boulder/Wooster College)

Sur la plus grande partie du Groenland, la neige ne fond que partiellement chaque été et se transforme par la suite en minces disques de glace ou "lentilles" de 2,5 cm à 5 cm d'épaisseur, enchâssés dans la neige compactée. *“Normalement, l'eau de fonte peut s'infiltrer vers le bas et autour des lentilles de glace et se recongeler au même endroit en hiver sans s'écouler vers la mer et ne pas contribuer ainsi à une hausse du niveau des mers , explique Michaël MacFerrin, chercheur à l'Université de Boulder qui a dirigé l'étude publiée dans la revue scientifique Nature. Mais à mesure que la fonte en Arctique devient plus fréquente et s'intensifie, ces délicates couches de glace se dilatent et se solidifient en "plaques" de 1 à 16 mètres d'épaisseur, créant une coque imperméable juste sous la surface.”* L'eau de fonte qui ne peut plus s'infiltrer dans le manteau neigeux, s'écoule alors le long de ces lentilles de glace pour se déverser directement dans l'océan. Ce phénomène, qui risque fortement d'accroître la hausse du niveau des mers, montre à quel point et à quelle vitesse le réchauffement climatique peut modifier une des régions les plus vulnérables de la Terre où on observe actuellement un réchauffement de +1°C tous les 10 ans c'est-à-dire un réchauffement 10 fois plus rapide que celui observé en Belgique !

Afin de comprendre le phénomène, l'équipe de recherche a soumis les données récoltées à différents modèles climatiques, dont le modèle régional du climat MAR, développé au Laboratoire de climatologie (Unité de recherches SPHERES / Faculté des Sciences). *« Nous avons ainsi tenté de comprendre comment les lentilles de glaces se sont étendues au cours des dernières décennies dans notre modèle afin de tenter de prédire comment elles pourraient continuer à croître et amplifier la fonte de la calotte, explique Xavier Fettweis, directeur du laboratoire de climatologie et co-auteur de l'article. »*

Selon une nouvelle évaluation menée par ce groupe de chercheurs, ces dalles de glace qui diminuent la capacité de rétention des eaux de fonte de la calotte, menaceraient d'augmenter la hausse du niveau des mers de plus de 7 cm d'ici 2100 par rapport aux projections du GIEC qui prévoit une contribution du Groenland de 20 cm dans le pire des scénarios. *« Il est fort à croire que d'ici 2100, alors que les températures enregistrées sur le globe continueront de grimper et que ces plaques de*

glace s'épaissiront, la zone de ruissellement pourrait s'agrandir d'un facteur 10 accélérant la hausse du niveau des mers, explique Xavier Fettweis. »

Voir l'animation qui explique l'effet d'éponge du Groenland affecté par le changement climatique
https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=K7INIDPpLA&feature=emb_logo

La masse de glace du Groenland fond sept fois plus vite que prévu



Glaciers qui rejettent des icebergs dans les eaux du fjord de Mogens Heinesen, au sud-ouest du Groenland.
(Source : Benoit Lecavalier)

Une étude menée par 89 scientifiques issus de 50 institutions, dont l'Université de Liège, fait état d'une situation des plus inquiétantes concernant la rapidité de fonte de la calotte du Groenland, et surtout de l'impact de cette fonte sur la hausse du niveau des mers et donc sur les populations côtières. En effet, les résultats de cette nouvelle étude démontrent une fonte plus rapide que ce qu'avait prévu le GIEC en 2013. Cette étude fait l'objet d'une publication dans le journal Nature.

Alors que la COP25 arrive à son terme, une nouvelle étude alarmante - menée par le groupe de chercheurs IMBIE - sur l'état de fonte des glaces du Groenland, vient de paraître dans le journal scientifique Nature. Cette étude, menée par 96 scientifiques issus de 50 organisations internationales, compile des données relevées de 1992 à 2018 par des moyens terrestres et spatiaux. Les données de 11 missions satellites différentes ont été utilisées, y compris des mesures de l'évolution du volume, de l'écoulement et de la gravité de la fonte de la calotte. L'équipe a également utilisé des modèles climatiques régionaux – tels que le modèle régional MAR développé conjointement par le Laboratoire de Climatologie de l'ULiège et l'Institut de géosciences de l'environnement de Grenoble en France pour montrer que la moitié des pertes de glace du Groenland étaient dues à la fonte des glaces en surface, la température de l'air ayant augmenté d'environ 1°C/10ans depuis 1990. L'autre moitié est due à l'augmentation de l'écoulement glaciaire (vélage d'icebergs), déclenché par la hausse des températures de l'océan.

Le groupe de chercheurs a donc estimé que, depuis 1992, le Groenland a perdu près de 3,8 billions (3800 milliards) de tonnes de glace ! Une perte suffisante pour faire monter le niveau des mers de 10,6 millimètres. « *Nous constatons un niveau de perte qui ne fait que s'amplifier au fur et à mesure des années*, explique Xavier Fettweis, chercheur qualifié frs-FNRS au Laboratoire de Climatologie de l'ULiège (Unité de recherches SPHERES / Faculté des Sciences). *Le taux de perte de glace est passé de 33 milliards de tonnes par an dans les années 1990 à 254 milliards de tonnes par an au cours de la*

dernière décennie, soit sept fois plus en trois décennies. En 2019, les premières estimations suggèrent une perte d'environ 500 milliards de tonnes ! »

En 2013, le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC) avait prédit que le niveau mondial de la mer augmenterait de 60 centimètres d'ici 2100, exposant 360 millions de personnes à des inondations côtières annuelles. Cette nouvelle étude qui montre que les pertes de glace du Groenland augmentent plus vite que prévu et suivent plutôt le scénario de réchauffement climatique le plus pessimiste du GIEC, prévoit une augmentation supplémentaire du niveau des mers de sept centimètres, ce qui aurait des conséquences sur 40 millions de personnes supplémentaires qui seraient exposées aux inondations côtières d'ici 2100.

"Selon les tendances actuelles, gouvernées en partie par des anomalies dans la circulation atmosphérique en Arctique en été, la fonte des glaces au Groenland provoquera l'inondation de 100 millions de personnes chaque année d'ici la fin du siècle, soit 400 millions au total en raison de l'élévation du niveau de la mer, explique le professeur Andrew Shepherd, de l'Université de Leeds qui a mené l'étude. » Les pertes de glace ont culminé à 335 milliards de tonnes par an en 2011 - dix fois plus vite qu'au cours des années 1990 - pendant une période de fonte intense de la surface. Bien que le taux de perte de glace ait chuté à une moyenne de 238 milliards de tonnes par année depuis lors, il demeure sept fois plus élevé et n'inclut pas l'été 2019, qui pourrait atteindre un nouveau sommet en raison de la fonte généralisée en été.

Voir le film ***Les pertes de glace au Groenland augmentent plus rapidement que prévu***
https://www.youtube.com/watch?time_continue=126&v=HIApT0-2LT4&feature=emb_logo

Effets du réchauffement arctique sur les interactions organo-minérales du pergélisol aux rivières jusqu'à l'océan



Ce qui se passe dans l'Arctique affecte l'ensemble de la planète. Avec le réchauffement de l'Arctique et le dégel du pergélisol, la décomposition des importantes quantités de matière organique préalablement gelées pourrait conduire à la libération de gaz à effet de serre et ainsi intensifier davantage le réchauffement global. Les interactions entre la matière organique et les minéraux protègent les composés organiques de la dégradation. Des chercheurs de Gembloux Agro-Bio Tech présentent leur projet OMI-Perm qui a pour objectif d'améliorer notre compréhension des interactions entre la matière organique et les minéraux libérés par la dégradation du pergélisol.

Le changement climatique actuel est amplifié dans l'Arctique, une région qui est particulièrement vulnérable à l'augmentation des températures. Le réchauffement sans précédent des hautes latitudes, deux fois plus important que le réchauffement planétaire, peut affecter les cycles biogéochimiques globaux. L'augmentation des températures et le dégel du pergélisol (roches, sédiments ou tourbes gelés en permanence en profondeur, permafrost en anglais) pourraient conduire au renforcement du changement climatique (ce qu'on appelle une rétroaction positive). En effet, les sols affectés par le pergélisol contiennent d'importantes quantités de matière organique. Avec le réchauffement et le dégel, cette matière organique est soumise à la décomposition par les micro-organismes du sol, et conduit à la libération de gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O). Ces émissions ont le potentiel d'intensifier davantage le réchauffement global.

Le dégel du pergélisol peut se produire de manière graduelle à partir de la surface ou de manière abrupte par la thermo-érosion (érosion qui résulte de la fonte de la glace dans le sol, appelée thermokarst). L'activité thermokarstique, dont l'étendue augmentera sous l'effet du changement climatique, modifie fortement le paysage (glissement de terrain, destruction des infrastructures) et les flux de matière organique vers les milieux aquatiques. Pendant son transport dans le bassin versant, de la source aux rivières puis à l'océan Arctique, la matière organique peut suivre deux voies : elle peut être minéralisée au cours de son transport, libérant du CO_2 et/ou du CH_4 vers l'atmosphère ou être stabilisée dans les horizons minéraux et ensevelie dans les sédiments fluviaux, lacustres et

marins. Les interactions entre la matière organique et les minéraux, telles que l'agrégation ou l'adsorption, protègent les composés organiques de la dégradation. Les mécanismes impliqués dans ces interactions complexes et leur évolution avec le changement climatique sont encore peu connus. Le devenir de la matière organique au cours de son transport pourrait déterminer l'intensité de la rétroaction induite par le dégel du pergélisol mais les incertitudes restent importantes.

Le projet OMI-Perm a pour objectif d'améliorer notre compréhension du devenir de la matière organique libérée par la dégradation du pergélisol vers les milieux aquatiques. L'interdisciplinarité est au cœur de cette étude qui associe : chimie organique des sédiments marins et fluviaux, géochimie des rivières arctiques et biogéochimie des sols. A partir d'un site extraordinaire, les chercheurs ont eu l'intention de participer à une meilleure compréhension des réponses des écosystèmes nordiques au changement climatique.

Leur campagne de terrain d'août 2019 à la station de recherche Zackenberg (ZERO) au Nord-Est du Groenland (74°28' N, 20°34' W) a été financée par le programme INTERACT EU-Horizon2020. La station de Zackenberg (ZERO), propriété du gouvernement groenlandais, est gérée par le département de Bioscience d'Aarhus University (Danemark). Au Zackenberg, la température du sol augmente depuis les trente dernières années. Ainsi, en 2018, après un hiver au cours duquel le couvert neigeux a été exceptionnellement épais et persistant, les chercheurs de l'équipe de Torben R. Christensen (Aarhus University, Danemark) ont découvert une ravine de thermo-érosion qui évolue rapidement.

L'équipe de recherche s'est rendue au Zackenberg pour quantifier et caractériser l'export de composés organiques et minéraux (solides et dissouts) et étudier l'évolution des interactions organo-minérales au cours de leur transport du sol à la rivière puis à l'océan. Pendant trois semaines, les chercheurs ont collecté des échantillons de sols à la fois dans la couche active (horizons de surface qui dégèlent chaque été, 30 à 100 cm d'épaisseur au Zackenberg) et dans le pergélisol (horizons du sol continuellement gelés, sous la couche active qui présentent une épaisseur de plusieurs centaines de mètres) au sein des ravines de thermo-érosion et des glissements de terrain rétrogressifs issus de la fonte. Ils ont également échantillonné l'eau et les sédiments qui coulent le long de ces formes d'érosion ainsi que l'eau et les sédiments des rivières de l'amont au delta dans le détroit Young.

L'équipe a focalisé son plan d'échantillonnage sur les bassins versants du Zackenberg (512 km²) et Grænseelv (~7 km²). Alors que les deux premières semaines perpétuaient l'été très sec en cours, deux événements pluvieux se produisirent. Ils en ont profité de ces événements, qui augmentèrent rapidement le débit des rivières ainsi que le flux de sédiments, pour échantillonner plusieurs fois les mêmes sites.

La deuxième moitié du mois d'août représente la fin de l'été dans le Haut-Arctique. Le front de dégel y est le plus profond et les écoulements de subsurface dans la couche active y sont importants. Ainsi, à partir de ces trois périodes hydrologiques différentes, les chercheurs ont eu l'intention d'étudier l'effet des pluies sur la mobilisation des composés organiques et minéraux et ainsi évaluer si la matière organique du pergélisol a été mobilisée.

Les soirs et les journées très pluvieuses furent dédiés à la filtration et à la conservation des échantillons. Pendant les 21 jours de terrain, l'équipe a marché 10 km par jour en moyenne et a porté un total d'environ 550 litres d'eau, fournissant suffisamment d'échantillons pour l'ensemble des analyses biogéochimiques qui seront conduites dans nos laboratoires respectifs. Nous mettons un effort particulier à conduire l'ensemble des analyses sur les mêmes échantillons. Les concentrations en carbone, azote, hydrogène, les isotopes du carbone (d13C, Δ14C) ainsi que les différents types de biomarqueurs et la composition minérale seront analysés sur les échantillons de sols et de sédiments. Pour les échantillons d'eaux, les isotopes de l'eau (d2H, d18O), le carbone

organique dissous, l'âge $\Delta^{14}\text{C}$, la composition minérale et les propriétés optiques de la matière organique dissoute seront analysés. Dans ce projet, nous amenons des scientifiques de communautés différentes qui partagent des techniques analytiques communes à travailler ensemble pour étudier l'effet du changement climatique sur le dégel du pergélisol du sol au milieu marin.

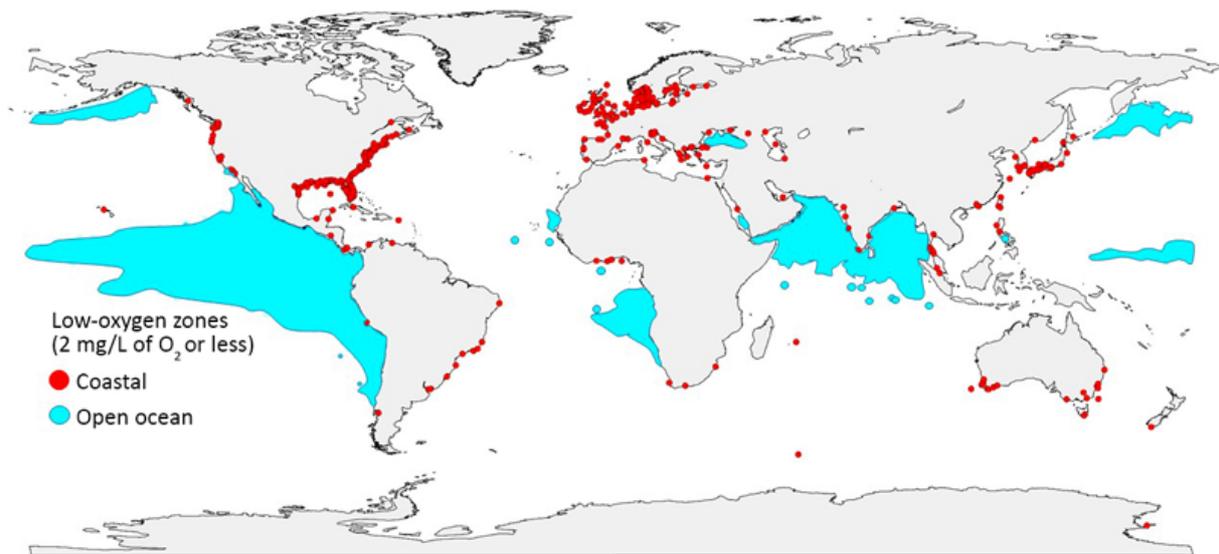
Pour conclure, souvenez-vous que ce qu'il se passe dans l'Arctique affecte l'ensemble de la planète.

L'océan mondial perd son souffle



Le groupe international de recherches GO₂NE, dont sa vice-présidente Marilaure Grégoire, Ingénieure civil physicienne, Directrice de Recherches FRS-FNRS au sein de l'Unité de recherches FOCUS et spécialiste de la modélisation des océans, tire la sonnette d'alarme dans un article publié dans la revue Science : le taux d'oxygène des océans a atteint un niveau bas record. L'équipe internationale de scientifiques affirme que pour mettre un terme à ce déclin, le monde a besoin de limiter le changement climatique et la pollution des eaux par les nutriments.

Les océans, poumons de notre planète, se portent mal. Une étude menée par le GO₂NE (Global Ocean Oxygen Network), un groupe de travail créé en 2016 par la Commission océanographique intergouvernementale des Nations Unies, vient d'aboutir à des résultats inquiétants. Dans leur rapport publié dans Science, les scientifiques annoncent qu'au cours des 50 dernières années, la quantité d'eau sans oxygène en haute mer a quadruplé et que pour les eaux côtières, y compris les estuaires et les mers, les sites à faible teneur en oxygène ont été multipliés par 10. « Nous nous attendons même à ce que le niveau d'oxygène continue de baisser même en dehors des zones étudiées, au fur et à mesure que notre planète se réchauffe, explique Marilaure Grégoire. De vastes régions de l'Océan Pacifique, déjà naturellement pauvres en oxygène, voient ainsi leur teneur en oxygène encore diminuer pour atteindre des seuils critiques, voire létaux, pour les organismes y vivant. »



Le nombre de zones à faible teneur en oxygène augmente dans le monde entier. Les points rouges marquent les endroits de la côte où l'oxygène a chuté à 2 milligrammes par litre ou moins, et les zones bleues marquent les zones présentant les mêmes niveaux d'oxygène bas en haute mer. Crédit: Groupe de travail GO2NE. Données de l'Atlas mondial des océans 2013 et fournies par R. J. Diaz

Au niveau des océans, les eaux de surface sont bien oxygénées par la dissolution de l'oxygène atmosphérique et la photosynthèse. En profondeur, l'oxygène est consommé par la respiration et son renouvellement dépend de l'existence de mécanismes capables d'amener les eaux de surface bien oxygénées en profondeur, c'est ce que l'on appelle la ventilation des eaux. « *Les changements climatiques sont en train de perturber cet équilibre. Le réchauffement des eaux de surface réduit en effet l'intensité de la ventilation des eaux et la solubilité de l'oxygène*, reprend Marilaure Grégoire. *Et dans les eaux côtières, c'est la pollution par les nutriments provenant des terres qui crée des proliférations algales qui consomment énormément d'oxygène lorsqu'elles meurent et se décomposent.* »

Dans les « zones mortes » traditionnelles, comme celles de la Baie de Chesapeake (sur le côté Est des Etats-Unis) et de la mer Baltique, le niveau d'oxygène peut atteindre des niveaux si bas que beaucoup d'animaux meurent asphyxiés. En mer Noire, en dessous de 100 m de profondeur on ne trouve que des bactéries en raison de l'absence d'oxygène et de la présence de vastes quantités de sulfure d'hydrogène. Comme les poissons évitent ces zones, leur habitat se réduit et ils se retrouvent plus exposés aux prédateurs et à la pêche. Dans leur rapport, les scientifiques font également remarquer que le problème dépasse de loin le seul phénomène des « zones mortes ». « *Même de plus petites baisses en oxygène peuvent freiner la croissance des espèces, entraver leur reproduction et entraîner des maladies voire la mort.* » Le changement des niveaux d'oxygène peut aussi déclencher la production de substances chimiques dangereuses telles que le protoxyde d'azote, un gaz à effet de serre jusqu'à 300 fois plus puissant que le dioxyde de carbone, et le sulfure d'hydrogène toxique. Si certaines espèces peuvent effectivement prospérer dans ces zones, il n'en est pas de même de la biodiversité dans son ensemble. « *Pour donner un exemple, poursuit Marilaure Grégoire, aux Philippines, la mortalité de poissons due à la désoxygénation dans les bassins aquacoles d'une seule ville coûte plus de 10 millions de dollars. Les récifs coralliens, qui sont une attraction touristique majeure pour de nombreux pays, sont également menacés par le manque d'oxygène.* »



Le manque d'oxygène cause la mort de ces coraux et d'organismes vivants autour comme à Bocas del Toro (Panama) où des crabes vivants dans les récifs ont succombé au manque d'oxygène. Crédit: Arcadio Castillo/Smithsonian

Pour faire face à la désoxygénation des océans, les scientifiques estiment que le monde doit adopter une approche tenant en trois points :

1. S'attaquer aux causes

C'est-à-dire à la pollution par les nutriments et le changement climatique, en réduisant de façon drastique l'utilisation d'engrais agricoles et les émissions de gaz à effet de serre. Bien qu'aucune de ces problématiques ne soit simple ou facile à enrayer, réfléchir à la mise en place de meilleurs systèmes septiques et d'assainissement peuvent protéger la santé humaine et éviter la pollution de l'eau.

2. Protéger les espèces marines les plus vulnérables et les ressources océaniques

Bien que l'augmentation du nombre de zones à faible teneur en oxygène semble inévitable dans certaines régions, il est crucial de protéger les pêcheries à risque de facteurs de stress supplémentaires. Selon l'équipe de GO2NE, cela se traduirait par la création d'aires marines protégées ou de zones de pêche interdite, précisément dans les zones où la faune se réfugie pour échapper à la baisse d'oxygène dans son habitat d'origine ; ou bien pêcher des espèces qui ne sont pas aussi menacées par la désoxygénation.

3. Améliorer la surveillance et la prédiction des niveaux d'oxygène à travers le monde

Les scientifiques savent à peu près quelle quantité d'oxygène l'océan pourrait perdre à l'avenir, mais pas où ces zones de désoxygénation se situeront exactement. Une surveillance renforcée, particulièrement dans l'hémisphère sud, des travaux expérimentaux pour mieux comprendre les processus responsables et affectés par la désoxygénation, ainsi que le développement de modèles numériques et avancés aideront à déterminer les points géographiques les plus à risque, et à identifier les solutions les plus efficaces.

La désoxygénation des océans et ses conséquences alarmantes pour nos sociétés



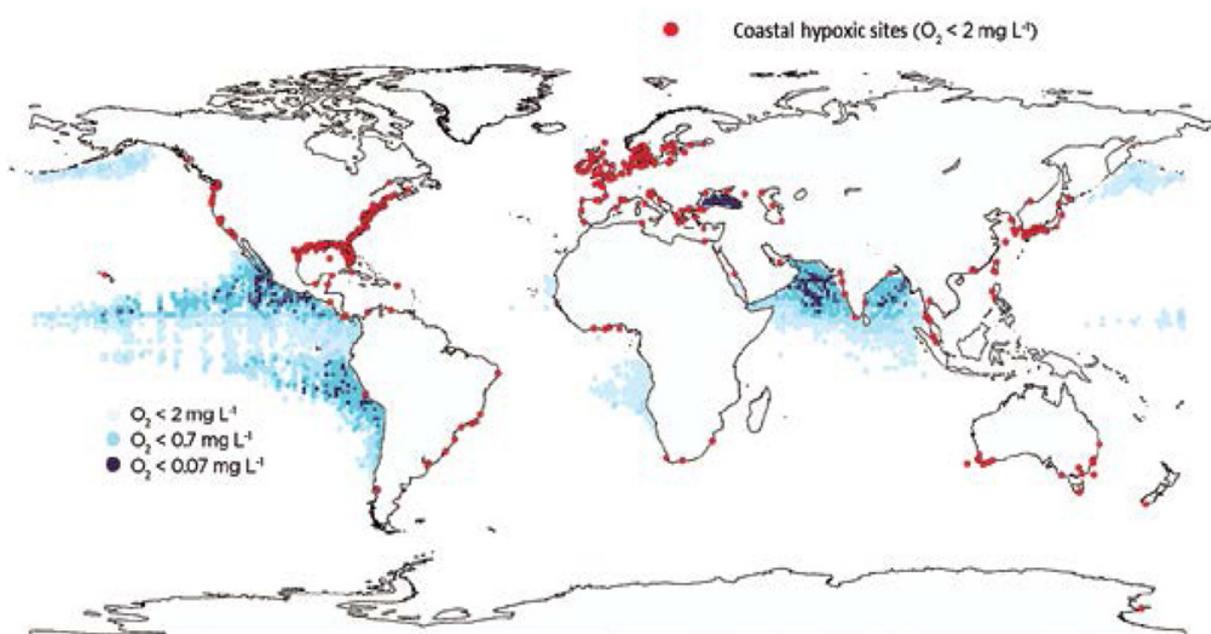
L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a présenté le 7 décembre 2019, à l'occasion de la COP25 à Madrid, un nouveau rapport sur l'état des océans, se penchant cette fois sur un phénomène sous-estimé mais pernicieux : la désoxygénation des océans.

Le rapport basé sur les travaux de 67 chercheurs dans le monde, dont Marilaure Grégoire, Directrice de recherches au FNRS à l'UR FOCUS du Département d'Astrophysique, Géophysique et Océanographie de l'Université de Liège, établit que les réserves mondiales d'oxygène océanique ont diminué de 2% sur une période de seulement 50 ans (de 1960 à 2010). Cette perte d'oxygène constitue une menace croissante sur les écosystèmes marins et les populations humaines qui en dépendent, notamment via la pêche. Des poissons comme les thons, les marlins ou les requins figurent maintenant sur la liste des espèces menacées, selon l'UICN.

Marilaure Grégoire est l'auteur principal du premier chapitre de ce rapport international : « Qu'est-ce que la désoxygénation ? » Les principales causes de cette désoxygénation sont l'eutrophisation et le réchauffement des eaux océaniques. L'eutrophisation résulte du ruissellement des nutriments provenant des zones côtières et aux dépôts d'azote liés à l'utilisation des combustibles fossiles. Selon les experts de l'UICN, les océans pourraient à nouveau perdre de 3 à 4% de leur contenu en oxygène d'ici à 2100 si les émissions de gaz à effet de serre croissent au même rythme qu'actuellement.

Les pertes en oxygène se concentrent dans les premiers 1000 mètres de la colonne d'eau, là où l'abondance et la diversité des espèces de poissons sont les plus élevées. Si dans les années '60, on dénombrait 45 sites côtiers dans le monde en déficit d'oxygène, ils sont de l'ordre de 700 aujourd'hui, selon les données présentées par les chercheurs. Durant ces cinquante dernières années, les volumes des eaux anoxiques, c.-à-d. complètement vides en oxygène, a quadruplé. Ces évolutions engendrent une rupture d'équilibre de la vie sous-marine et favorisent, par exemple, les espèces tolérantes à l'hypoxie (i.e. contenu en oxygène < 63 $\mu\text{mol/l}$) comme les microbes, les méduses, certains calmars, au détriment de la plupart des espèces de poissons, qui sont sensibles à

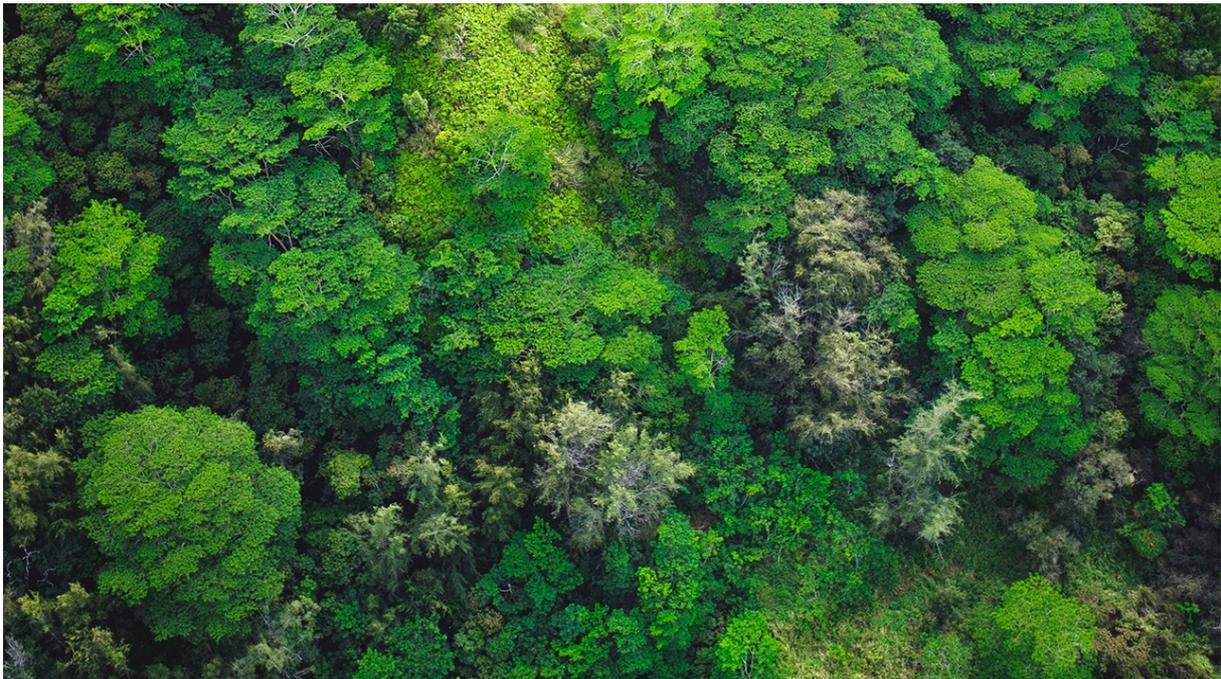
l'hypoxie. Ceci fragilise l'ensemble des écosystèmes marins ainsi que les populations humaines côtière, qui sont très dépendantes des ressources halieutiques, notamment en Afrique ou en Asie. Marilaure Grégoire souligne l'importance d'efforts internationaux, comme le service Copernicus marin pour coordonner les efforts d'observation et de modélisation numérique des océans visant à fournir des prévisions de l'occurrence de zones de minimums d'oxygène.



Distribution globale de la désoxygénation dans les zones côtières et en pleine mer (from Breitburg et al., 2018). Dans la zone côtière, plus de 500 sites ont été inventoriés avec des conditions de faible teneur en oxygène alors qu'en haute mer, l'étendue des eaux à faible teneur en oxygène s'élève à plusieurs millions de km^3 .

Tout en travaillant à l'amélioration de la récolte des données et des modèles simulant les évolutions des écosystèmes marins, les experts de l'UICN plaident pour une réduction importante et rapide des GES.

Planter mille milliards d'arbres ne va pas arrêter le changement climatique



Une équipe internationale de recherche dont fait partie le Pr Grégory Mahy, chercheur à l'Université de Liège, remet en cause une étude publiée en juillet qui assurait que le fait de reboiser massivement la terre permettrait d'atténuer les effets du changement climatique. Selon l'équipe de recherche menée par Joseph Veldman de l'Université du Texas A&M, la précédente étude n'aurait pas pris en compte des données essentielles telles que la nature des sols. Les commentaires sur cette étude ont fait l'objet d'une publication dans la revue Science.

Parce que les arbres capturent le carbone grâce à la photosynthèse, certains scientifiques et groupes de défense de l'environnement préconisent de planter massivement des arbres comme solution au changement climatique. Un groupe de 46 scientifiques du monde entier, dirigé par Joseph Veldman de l'Université du Texas A&M, appelle à la prudence. Dans un commentaire technique publié dans la revue Science, ces chercheurs démontrent qu'une publication scientifique récente a considérablement surestimé le potentiel de la plantation d'arbres à atténuer le changement climatique.

En outre, planter des arbres au mauvais endroit peut détruire certains écosystèmes, augmenter l'intensité des feux et à l'inverse, exacerber le réchauffement climatique. Joseph Veldman déclare : *"La plantation d'arbres peut être une bonne chose dans certaines zones qui ont été déboisées, mais la plantation d'arbres dans des écosystèmes naturellement herbacés comme des savanes ou des pelouses va détruire les habitats d'un grand nombre d'espèces végétales et animales et ne séquestrera pas suffisamment de carbone pour compenser les émissions liées aux énergies fossiles."*

Ce commentaire technique est une critique de l'article scientifique récemment paru dans Science, dirigé par Jean-François Bastin et Thomas Crowther de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich. Ces chercheurs, financés par une fondation néerlandaise à but non lucratif (DOB Ecology), un groupe promouvant la plantation d'arbres (Plant-for-the-Planet) et le ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement, ont affirmé que la plantation d'arbres à travers le monde pourrait ainsi capturer 205 milliards de tonnes de carbone, soit un tiers du dioxyde de

carbone émis depuis la révolution industrielle. J. Veldman fait remarquer que *“l'estimation de 205 milliards de tonnes de carbone capturées était si importante, qu'en juillet 2019, les uns des journaux du monde entier ont déclaré que la plantation d'arbres était la meilleure solution face aux changements climatiques. Nous savons maintenant que ces gros titres étaient faux.”*

Dans leur critique, J. Veldman et ses collaborateurs écrivent que cette étude présente de graves approximations qui ont conduit à multiplier par cinq le réel potentiel des arbres nouvellement plantés à atténuer le changement climatique. Parmi les problèmes, cette étude part du principe que les sols des écosystèmes avec peu ou pas d'arbres, ne contiennent pas de carbone, alors qu'en réalité, de nombreux écosystèmes, tels que les savanes ou les tourbières, contiennent davantage de carbone dans leurs sols que dans la partie aérienne de leur végétation. Cette recherche a également négligé le fait que les forêts de conifères des régions boréales et de hautes montagnes absorbent plus de lumière solaire et émettent plus de chaleur que les zones sans arbres, et exacerbent le réchauffement planétaire plutôt que de l'atténuer. Enfin, les auteurs soutiennent que la plantation d'arbres dans les écosystèmes naturellement ouverts comme les pelouses et les savanes, promue dans cet article scientifique, est dommageable pour la biodiversité et l'environnement.

Selon les auteurs, *“les pelouses et les savanes anciennes contiennent une immense biodiversité et fournissent des services écosystémiques à l'humanité, offrant par exemple des zones pour le maintien du pâturage et assurant la recharge en eau des nappes phréatiques. Nous craignons qu'une focalisation aveugle sur la plantation d'arbres, réduise la capacité des populations humaines à s'adapter au changement climatique tout en détournant l'attention des efforts de conservation des écosystèmes intacts et de réduction de la consommation de combustibles fossiles”*.

Quels arbres pour la forêt de demain?



17 scientifiques et académiques de la Fédération Wallonie – Bruxelles cosignent cette carte blanche pour alerter sur les risques de destruction de l'écosystème des forêts wallonnes par l'introduction massive d'espèces végétales exotiques.

Changements climatiques, émergence de nouveaux pathogènes, insectes ravageurs, dépérissement progressif : la forêt wallonne est indubitablement en crise. Face à ce constat inquiétant, une solution souvent présentée aux gestionnaires forestiers consiste à introduire en forêt de nouvelles espèces d'arbres originaires d'autres continents et mieux adaptées au climat chaud qui nous attend. Il s'agirait de « ré-enrichir » la forêt européenne, qui serait trop pauvre pour surmonter cette crise. Nous pensons que cette solution ne doit pas être un axe prioritaire de l'adaptation des forêts aux changements globaux car chaque introduction d'espèce exotique présente des risques sanitaires, d'invasion et de dérèglement de l'écosystème.

Préserver les facteurs de stabilité

En effet, une forêt n'est pas une simple juxtaposition d'arbres. Son bon fonctionnement, notamment sa capacité à réagir aux maladies, ravageurs et aléas climatiques, dépend de la diversité des interactions qui existent au sein de l'écosystème. Chaque espèce d'arbre possède son cortège d'espèces associées, parfois très spécialisées (micro-organismes, champignons, lichens, insectes, oiseaux, etc.), qui interagissent pour assurer une certaine stabilité aux forêts. Pour continuer à jouer son rôle dans la résilience des forêts, cette diversité d'espèces et d'interactions, qui s'est formée pendant des millénaires au sein de l'écosystème, doit être préservée avec prudence par les gestionnaires forestiers.

Gare aux agents ravageurs !

Dans ce contexte, les espèces exotiques transplantées dans un environnement totalement nouveau n'apportent pas de plus-value. Au contraire, ces introductions pourraient perturber le fonctionnement de l'écosystème et altérer ses capacités d'adaptation et de résilience.

L'introduction de nouvelles espèces présente le risque d'introduire conjointement des pathogènes et ravageurs exotiques, susceptibles d'affaiblir plus encore les arbres indigènes, comme dans le cas de la chalarose du frêne lors de l'importation de frênes asiatiques. Les arbres exotiques ne restent pas non plus exempts de ravageurs. Prenons le cas du Douglas, espèce providentielle pour la sylviculture durant le siècle dernier, mais désormais fortement affectée par des insectes et maladies après une première génération prometteuse.

Bannir les espèces envahissantes

Un autre risque est que certaines espèces introduites deviennent des espèces exotiques envahissantes, susceptibles de remplacer progressivement les espèces indigènes et d'altérer la biodiversité des forêts. Ainsi, le cerisier tardif, importé d'Amérique du nord pour « enrichir » les forêts acides, a largement envahi les sous-bois et constitue maintenant une sérieuse contrainte pour la régénération naturelle des espèces indigènes, affectant ainsi la biodiversité forestière. Tsugas, frênes américains et érables asiatiques commencent aussi à présenter des signes d'invasion, et il est dangereux d'introduire ces espèces sans considération des conséquences sur nos écosystèmes.

Observer des sites sentinelles

Il est donc imprudent d'introduire massivement dans nos forêts des espèces exotiques d'origine lointaine pour pallier les faiblesses de nos principales espèces de production de bois. Au contraire, cette solution doit être mûrement réfléchie et précédée d'analyses de risque rigoureuses, démontrant l'absence d'impacts potentiels. Un réseau de « sites sentinelles » destiné à surveiller l'évolution de ces espèces devrait être mis en place et suivi par des scientifiques de disciplines variées, tel que conseillé dans le code de conduite sur les arbres exotiques envahissants proposé par le Conseil de l'Europe.

Diversifier les peuplements

Par contre, les forestiers disposent déjà de moyens, moins spectaculaires mais efficaces, pour améliorer la résilience et l'adaptabilité des forêts et ainsi assurer leurs fonctions économiques, sociales et écologiques.

Nous recommandons de diversifier les peuplements, en laissant s'y développer tous les pans de la biodiversité (humus, bois morts, vieux arbres, espèces du sous-bois, etc.), garants de la résilience de la forêt. Cela signifie de remettre à l'honneur des espèces d'arbres indigènes, tels que bouleaux, tilleuls, érables, sorbiers ou aulne, dont le potentiel a été sacrifié sur l'autel de la production de masse. C'est aussi mener une sylviculture qui s'appuie sur le fonctionnement naturel de l'écosystème, en particulier la régénération naturelle, porteuse de diversité génétique, et qui aura tendance à produire des forêts diversifiées, structurées et résilientes. C'est également protéger le fonctionnement des sols, qui sont le siège d'une discrète mais intense activité biologique assurant la fertilité naturelle.

Déplacer certaines espèces

En complément à ces mesures, certains « déplacements d'espèces » peuvent être pertinents, comme la sélection de provenances d'arbres indigènes mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques : hêtres français ou italiens, par exemple. La migration assistée d'espèces européennes plus méridionales, comme le cormier ou le chêne pubescent, sont également à l'étude.

Les forêts sont porteuses d'enjeux suffisamment importants pour que nos sociétés se donnent les moyens d'agir de façon posée, scientifiquement cohérente et acceptable d'un point de vue sociétal, pour les rendre résilientes au changement global et assurer le maintien à long terme de ces écosystèmes riches, complexes et fascinants.

Web-documentaire interactif "La respiration microbienne des sols"



**Saviez-vous que les sols émettent aussi des gaz à effet de serre ?
Et que notre agriculture influence ces émissions ?
Dans ce documentaire interactif, Margaux Lognoul vous présente ses activités de recherche.**

Pourquoi les sols émettent des gaz à effet de serre?
Pourquoi et comment notre agriculture influence ces émissions?
Comment procèdent les scientifiques pour mesurer précisément ces émissions sur le terrain ?
Pourquoi définir un objectif de recherche?
Comment concevoir une expérience pour répondre à cet objectif?
Comment interpréter les données récoltées?
Comment partager les connaissances scientifiques?

[Regarder le web-documentaire interactif](#)

(lien - <https://www.gembloux.uliege.be/sites/sols-et-gaz-a-effet-de-serre/index.html#01seq1>)

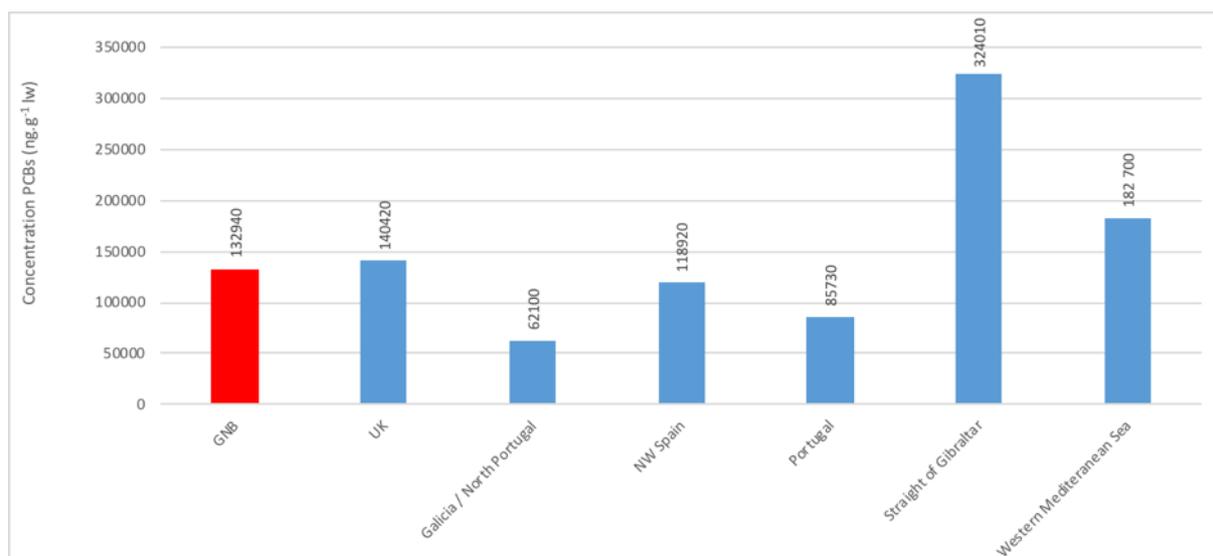
La plus grande communauté de grands dauphins côtiers d'Europe menacée par la pollution industrielle



Une étude menée par des chercheurs de l'Université de Liège (UR FOCUS/MoISys Faculté des Sciences) et du Groupe d'Études des Cétacés du Cotentin (GECC), révèle la concentration en polluants organiques persistants et en mercure chez les grands dauphins du golfe Normand-Breton. Les taux de concentration relevés sont alarmants et pourraient avoir des répercussions importantes sur la dernière plus grande communauté de grands dauphins d'Europe. Cette recherche fait l'objet d'une publication dans la revue Scientific Reports.

De nombreuses communautés de dauphins vivent le long des côtes de l'Europe. Il ne reste toutefois qu'une seule communauté de grands dauphins, appelés Tursiops, qui vit dans le golfe Normand-Breton, en Normandie. Cette communauté, qui compte 400 individus est aujourd'hui menacée par les activités humaines, et plus particulièrement les activités industrielles. C'est ce que prouve en tout cas une étude récente menée par des chercheurs de l'Université de Liège (Unités de Recherches FOCUS et MoISys de la Faculté des Sciences) en collaboration avec le Groupe d'Études des Cétacés du Cotentin (GECC). En cause, l'activité humaine, mais surtout industrielles des entreprises qui bordent le golfe.

« Nous avons analysé de nombreux échantillons prélevés sur 82 des dauphins qui vivent dans le Golfe, explique Krishna Das, Maître de recherches FNRS au sein du laboratoire d'Océanologie biologique de l'Université de Liège, et nous avons constaté des niveaux très élevés de concentration en polluants organiques persistants (POPs) et en Mercure. » Du côté des POP, les chercheurs ont principalement relevé des polychlorobiphényles (PCBs), des polluants hautement toxiques et issus de l'activité industrielle, qui sont pourtant interdits en Europe depuis plusieurs décennies ! Les niveaux de Mercure relevés dans les échantillons étaient quant à eux similaires aux taux relevés dans la Mer Méditerranée et dans les Everglades (Floride, USA), deux sites tristement célèbres pour leur niveau élevé de contamination par le mercure.



Concentrations moyennes de BPC chez les grands dauphins mâles du golfe Normand-Breton (NBG, barre rouge, présente étude, Σ6 NDL-PCBs) comparées au ΣPCBs d'autres sites européens.

« Les polluants organiques persistants, en particulier les PCBs contenant du chlore, reprend Krishna Das, ont été interdits dans la plupart des pays développés entre les années 1970 et 1990. Cependant, ils sont toujours détectés, chez de nombreuses espèces d'organismes marins, même ceux vivant dans les abysses océaniques. » Les polychlorobiphényles ont été utilisés, entre autres, comme diélectriques et fluides de refroidissement dans les équipements électriques et dans les fluides caloporteurs. Cependant, malgré leur interdiction, les PCB persistent encore dans l'environnement marin. « Ils sont très persistants, se dégradent mal et s'accumulent efficacement dans les réseaux trophiques marins jusqu'au dauphin ». Malgré les réglementations en vigueur, cette étude révèle que ces polluants organiques sont toujours présents dans l'environnement marins et qu'ils s'accumulent dans les réseaux trophiques allant jusqu'aux grands dauphins. « Ces polluant pourraient persister plusieurs décennies, et certains scientifiques envisagent même qu'ils puissent persister des siècles, s'inquiète Krishna Das » Ces polluants toxiques ont des effets dévastateurs sur le système immunitaire mais aussi sur les capacités de reproduction de ces mammifères. Pour enrayer ce processus, l'équipe de chercheurs préconise que le golfe Normand-Breton puisse devenir une Zone Spéciale de Conservation (ZSC) afin de protéger l'une des dernières grandes populations de grands dauphins côtiers en Europe.

Recherches pour demain

Transition énergétique et économie circulaire

Il y a quelques siècles encore les agriculteurs et les forgerons utilisaient une énergie exclusivement renouvelable. Qu'il s'agisse de la force animale, du charbon de bois ou même du moulin à vent, ces énergies étaient largement disponibles et ne nécessitaient pas d'infrastructure exceptionnelle. L'homme utilisait alors tout au plus sept métaux pour servir des besoins aussi divers que l'armement, la construction ou la joaillerie : l'or ; l'argent ; le fer ; l'étain ; le cuivre ; le plomb ... et le mercure.

La révolution industrielle a multiplié par mille les besoins en énergie de chaque individu ! La biomasse n'étant plus capable de suivre¹, l'homme s'est tourné vers la biomasse fossile et depuis lors il n'a jamais autant extrait de lignite, de charbon, de gaz ou de pétrole qu'en 2019. Cette consommation, ou plus exactement consommation, frénétique est interpellante et pose inévitablement la question des limites que ce soit par le biais d'une analyse des réserves restantes ou par le souci de limiter les émissions de CO₂ dans l'atmosphère. La croissance ininterrompue de la démographie et l'accès d'un plus grand nombre à un meilleur confort matériel ne font que renforcer ce sentiment pressant d'un nécessaire changement de cap.

La grande chance de l'humanité est qu'il existe encore suffisamment de ressources fossiles pour se donner le temps d'analyser un possible avenir énergétique, qu'il soit centralisé ou décentralisé, qu'il repose sur une meilleure maîtrise du nucléaire, une meilleure connaissance des ressources de la géothermie ou une meilleure performance des technologies éoliennes et photovoltaïques. Pour de nombreux ingénieurs et énergéticiens, il n'y a en tous cas pas lieu d'agir dans la précipitation sous la menace d'une urgence climatique et encore moins d'un ukase anti-nucléaire.

Le moulin à vent de nos ancêtres a bien évolué et il est proche aujourd'hui d'un rendement optimal grâce à une conception plus aérodynamique et à l'utilisation de matériaux plus performants. La transformation de l'énergie en électricité et surtout les possibilités de stockage font qu'il est même envisageable d'utiliser cette énergie à tout moment et en tout lieu. Mais, ce progrès a un coût qui est celui de la mobilisation sans précédent d'une quantité et d'une diversité accrue de matières premières. Une éolienne de 3 MW nécessite typiquement 840 tonnes de béton, 300 tonnes d'acier, 5 tonnes de cuivre ou encore 400 kg de néodyme sans compter l'électronique de contrôle qui mobilise à elle seule la plupart des éléments du tableau périodique. Mais, c'est surtout le stockage énergétique via des batteries, qui va nécessiter d'énormes quantités de métaux pour assurer la transition énergétique tant espérée. On estime, par exemple, que l'objectif de 30% d'énergie renouvelable associé à une croissance similaire de la part des véhicules électriques induit une augmentation de 400% des besoins en cobalt à l'horizon 2030 sans parler du lithium, du nickel, du cuivre ou encore du graphite... Il n'y aura donc pas de transition énergétique sans une exploration plus approfondie de notre sous-sol et sans une exploitation plus intensive de ses richesses ! Si un tel extractivisme annoncé peut en effrayer plus d'un, il n'empêche qu'il pourrait constituer une opportunité unique pour développer une véritable économie circulaire des métaux. Aujourd'hui l'économie circulaire n'est encore qu'un paradigme. Pour s'en rapprocher, il est indispensable de s'atteler à quatre défis majeurs en mettant en place les technologies, les normes et les règles économiques indispensables.

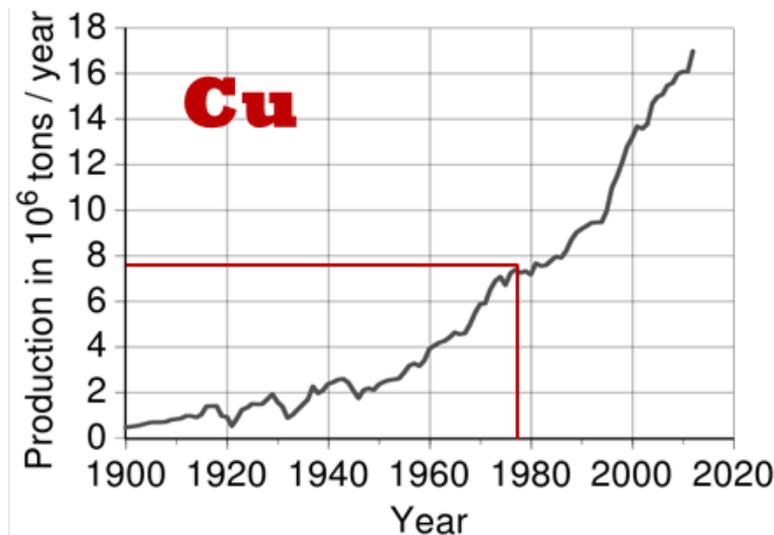
Défi numéro 1 : Alimenter la boucle (FEED THE LOOP)

La croissance des besoins démontre à l'évidence qu'il faudra encore exploiter beaucoup de ressources minérales et métalliques pour alimenter la boucle. Nous utilisons aujourd'hui en

¹ Johann-Karl von Carlowitz, directeur de l'administration des mines d'argent de Freiberg s'inquiétait déjà dans *Sylvicultura Economica* (1713) du taux de déforestation trop rapide.

abondance des métaux qui hier encore ne trouvaient aucune utilité : le germanium indispensable à nos fibres optiques, l'indium de nos écrans tactiles ou encore le lithium de nos batteries n'en sont que quelques exemples.

Le recyclage peut bien entendu contribuer à alléger la facture extractive, mais il faut avant tout tenir compte de la résilience des métaux dans le cycle anthropique. On estime, par exemple, que la durée de vie moyenne du cuivre est de l'ordre de 40 ans. Ainsi, même si nous étions capables de le collecter parfaitement et de le recycler sans rien en perdre², nous aurions au mieux à notre disposition l'équivalent de la production minière d'il y a quarante ans soit exactement la moitié des besoins d'aujourd'hui !



Évolution de la consommation mondiale de cuivre depuis 1900 selon les données du USGS. La consommation de cuivre a doublé sur les 40 dernières années.

Défi numéro 2 : Optimiser le stockage des métaux (BUILD THE LOOP)

Le progrès technique a été le moteur de l'humanité depuis la nuit des temps, c'est lui qui a permis de s'affranchir des tâches les plus asservissantes, de découpler la force de travail et ... de gagner des guerres. L'idée même de progrès technique est étroitement liée au perfectionnement de nos outils dans le sens d'une plus grande efficacité fonctionnelle ou d'une moindre consommation énergétique. Le cas de l'automobile est emblématique à cet égard, mais d'autres technologies comme l'éclairage nous démontrent mieux encore qu'il reste du chemin à parcourir. Pris sous l'angle de la seule efficacité énergétique, le remplacement de nos ampoules à incandescence par des diodes est indiscutable puisqu'il permet une réduction de la consommation de 90% ! En revanche, la mobilisation des ressources métalliques et leur assemblage microélectronique complexe interpelle sur la disponibilité de ces mêmes ressources pour les générations futures.

Construire la boucle de l'économie circulaire nous impose désormais de concevoir nos produits comme des stocks de matériaux à la disposition des générations futures. Ils sont la mine urbaine de demain et, en tant que tels, ils se doivent d'être plus facile à exploiter que les minerais dits primaires. Cela n'est envisageable qu'à la condition expresse que ces produits soient facilement démontelables et recyclables. Nous devons désormais les penser en veillant au « design for dismantling » / « design for recycling » afin d'optimiser l'ensemble de la boucle de production.

² Ce qui est impossible selon les lois de la thermodynamique

Incandescent



12-20 lm/W

Halogene



18-25 lm/W

Fluo-compact



60-80 lm/W

LED



25-140 lm/W

L'évolution technologique de l'éclairage sur les dernières décennies est incontestable sous l'angle de la fonctionnalité, mais contestable sous l'angle des ressources métalliques nécessaires et de la non-recyclabilité des produits.

Défi numéro 3 : Prolonger la durée d'utilisation (SLOW DOWN THE LOOP)

La mise en place d'une économie plus circulaire n'est pas qu'une affaire d'ingénieurs ou de géologues. Elle ne sera vraiment pertinente que si nous ralentissons la boucle de consommation. N'en déplaise au baron Bic, l'idée même de jeter un stylo bille après utilisation est totalement incongrue. Nous devons retrouver un rapport à l'objet qui nous incite à le préserver, le réparer et le réutiliser autant que faire se peut. Les économies les plus pauvres offrent à cet égard de nombreuses leçons exemplaires. Le zéro déchet n'y est pas un slogan mais une réalité.

Dans cette perspective, il est clair que de nouveaux modèles économiques doivent être soutenus qu'ils s'inspirent de l'économie de la fonctionnalité ou qu'ils incitent les fabricants à accorder des garanties prolongées sur leur produit. On devra légitimement s'inquiéter du frein à l'innovation technologique que cela pourrait induire mais il doit sûrement exister une voie raisonnable entre stagnation et progrès futile. Il faudra toutefois compter sur une révolution copernicienne de la culture du consumérisme et du marketing à outrance.

Défi numéro 4 : Améliorer nos capacités de recyclage (CLOSE THE LOOP)

Même si tout doit être fait pour retarder cette échéance³, il arrive un moment où un produit est légitimement en fin de vie et où, ayant perdu toute fonctionnalité, sa valeur résiduelle est celle des matériaux qui le forment. C'est ici qu'intervient le recyclage, c'est-à-dire l'opération technique qui consiste à séparer et préparer ces matériaux pour un nouveau cycle. Une analogie très parlante du recyclage est le jeu en pâte à modeler. Si nous n'y prenons garde nos matériaux se mélangent en une boule de couleur infâme et il n'y a plus d'avenir. Si nous sommes méticuleux il est possible de séparer les couleurs de base et de redonner vie à de nouveaux produits. Encore faut-il que les matériaux recyclés trouvent acheteur et que ceux-ci soient prêts à mettre un prix qui couvre le coût du recyclage. La réalité d'aujourd'hui est que tout cela n'est possible que grâce à une subsidiation soutenue car il existe encore trop de méfiance vis-à-vis de la performance des matières premières recyclées ou que le prix des métaux d'origine primaire est bien trop faible !

L'innovation, en particulier le tri intelligent faisant appel aux techniques de robotique et d'intelligence artificielle⁴, offre des perspectives intéressantes pour améliorer les performances du recyclage, mais il est bon de toujours garder à l'esprit que le plus performant des procédés de recyclage dépasse rarement les 95%. Autrement dit, après 15 cycles, il pourrait ne plus rester que la moitié de la ressource initiale le reste étant dissipé dans des déchets ultimes!

³ En pratique, il convient de bannir toute forme d'usage unique qu'il s'agisse de plastique, d'aluminium ou même de papier.

⁴ L'ULiège a développé un prototype de robot de tri (Pick It) prêt à être déployé à l'échelle industrielle

Développer l' Agriculture urbaine : l'exemple de l'aquaponie



“L’agriculture citadine” n’est plus un oxymore depuis longtemps. A New York, Singapour, Berlin ou Rotterdam, elle existe déjà. Aux Etats-Unis – à Pittsburgh ou à Détroit – la mise en place d’une agriculture nourricière sur les friches industrielles fait partie depuis quelques années des programmes municipaux. La ville de Singapour est très clairement acquise à la cause : elle produit 25% de ses besoins en légumes et est autosuffisante en viande. Ce que l’on appelle aujourd’hui l’agriculture urbaine et périurbaine est donc, dans les faits, une réalité. Selon les estimations de l’Organisation des Nations unies pour l’alimentation et l’agriculture (FAO), environ 800 millions de personnes dans le monde dépendent de cette agriculture urbaine. Dans certaines villes, jusqu’à deux-tiers des ménages la pratiquent.

En Europe, la ville de Sheffield en Angleterre a opéré dans les années 90 une reconversion spectaculaire en réhabilitant plus de 300 ha de friches industrielles. Et si l’éventail des possibilités est grand – de la création de logements et de commerces à l’ouverture de centres culturels – depuis quelques années maintenant, l’idée de consacrer des terrains à une agriculture urbaine fait son chemin, revenant ainsi à un schéma médiéval où les produits frais se cultivaient aux abords des villes eu égard à la faiblesse des modes de transport de l’époque. Jusqu’à la fin du XIX^e siècle, Paris était entourée d’une ceinture maraîchère et d’un vignoble, mais l’essor des villes et de l’industrialisation a repoussé l’agriculture “hors les murs”, à la campagne qui disposait de plus grands espaces.

Plus près de nous, la ville de Gand mène plusieurs projets de rénovation du centre urbain (“Bruggen naar Rabot”.) avec, comme fil rouge, la nature et les jardins communautaires. Derrière le palais de justice, par exemple, s’étend à présent un jardin communautaire à vocation agricole : des micro-parcelles ont été posées sur une dalle de béton qui protège la terre de la pollution du sol. Une petite zone d’élevage (volaille, lapins) a été construite à l’initiative des habitants du quartier.

Activité économique, la démarche est aussi écologique et participe de la qualité de vie des citadins. Pourquoi dès lors ne pas convertir certaines friches industrielles situées le long de la Meuse en espaces agricoles ? Disposant à la fois d’une ville, de friches et d’un fleuve, le bassin liégeois a des atouts majeurs pour s’investir dans un projet d’agriculture urbaine. *« L’objectif est de créer des emplois – qualifiés et non-qualifiés – et de générer des profits. En un mot, l’agriculture urbaine doit*

être rentable et, si possible, à l'origine de nouvelles filières de formation voire de nouveaux métiers », développe le Pr Haissam Jijakli, spécialiste de l'agriculture urbaine à Gembloux Agro-Bio Tech. Et de prendre l'exemple de la ferme "Uit je eigen stad" à Rotterdam qui, depuis mai 2012, a investi un ancien entrepôt industriel afin d'y cultiver des champignons et divers légumes. A côté d'un poulailler, un restaurant et un magasin complètent une offre de produits locaux destinés à une clientèle autochtone ; 16 personnes travaillent dans cette ferme de 1,8 ha dont le gérant concrétise au quotidien la formule "du producteur au consommateur". La production sera axée sur le végétal, dans un but alimentaire et médical.

L'activité sera aussi écologique : de l'aménagement des bâtiments à l'activité elle-même en passant par le transport des marchandises, la gestion du site et le recyclage des déchets, tout sera mis en oeuvre pour économiser l'énergie et rejeter le moins possible de CO₂. C'est l'idée des "circuits courts", des "paniers verts". *Last but not least*, l'agriculture en ville a aussi une fonction récréative. Non seulement elle rapproche les citoyens de la nature, mais elle leur procure en outre un environnement apaisant. En plus des vertus pédagogiques des jardins communautaires, les parcs et les zones de loisirs leur permettent de redécouvrir la nature par des activités de détente et participent dès lors à la qualité de vie. C'est déjà le cas à New York, à Détroit, Berlin, Rotterdam et à Bruxelles où quelques initiatives intéressantes en ce sens viennent d'être prises.

Verdir

A l'instar d'Amiens qui a maintenu une partie des hortillonnages au centre de la ville et utilise les canaux pour approvisionner le marché du samedi, Liège pourrait remplacer les friches industrielles par des cultures maraîchères et utiliser la Meuse pour transporter la récolte en ville : tel est le projet visionnaire du Pr Eric Haubruge, connu par son acronyme "Verdir" pour "Valorisation de l'environnement par la réhabilitation durable et l'innovation responsable".

Au cours du siècle dernier, l'agriculture s'est développée à la campagne car elle avait besoin de grandes surfaces de terres arables et acheminait les marchandises en ville grâce au développement des transports et à l'essor de la grande distribution. Mais ce temps semble révolu : l'ère de "l'agro-alimentaire globalisé" a vécu. Aujourd'hui les nouvelles techniques de culture permettent de produire des légumes en périphérie des villes, sur des sites désaffectés, au coeur de quartiers habités et d'infrastructures existantes (commerces, écoles, administrations, loisirs, etc.). La production sera axée sur le végétal, dans un but alimentaire mais aussi non-alimentaire : *la pharmacie par exemple est intéressée par des plantes médicinales à haute valeur ajoutée, par des extraits de plantes ou encore par des composantes d'algues.*

A Herstal, l'ancien site des Ateliers de construction électrique de Charleroi (Acec) est aujourd'hui une friche industrielle de 27 ha sise le long de la Meuse. La SPI et la ville de Herstal ont l'ambition de reconverter ce lieu en un quartier urbain connecté et le master plan "Green Life" conçu par l'équipe de Studio 018-Paola Viganò, vient d'être adopté.

Le projet "Verdir" y trouvera place en bénéficiant à la fois de la proximité de l'eau et de l'énergie, deux composantes indispensables à la culture de plantes tropicales. Par ailleurs, une pépinière de "Smart Box" – containers intelligents – seront installés afin de permettre une agriculture hors sol, durable et optimale.

Aquaponie

Transformer d'anciens sites industriels en terrains agricoles requiert quelques aménagements. Heureusement, il ne sera pas nécessairement indispensable de dépolluer les sols car, comme quelques expériences au Canada l'ont prouvé, on peut utiliser du géotextile pour rendre le sol étanche. Autre solution, l'hydroponie, est une culture "hors sol" fréquemment utilisée déjà pour les tomates, les laitues et les poivrons. Les plantes sont placées dans des gouttières de façon à ce que les racines soient alimentées par une solution nutritive adaptée à leurs besoins.

Le système d'aquaponie va plus loin encore puisqu'il associe la technique de l'hydroponie avec un élevage de poissons. Grâce à un biofiltre contenant des milliards de bactéries, les déjections de ces animaux (nourris avec des farines végétales) sont dégradées en éléments minéraux assimilables par les végétaux et tout particulièrement par les légumes riches en feuilles, gourmands en nitrates. L'eau usée des bassins où vivent les poissons est filtrée et acheminée vers les plantes à qui elle apporte les nutriments indispensables. En assimilant les nitrates, les végétaux purifient ainsi l'eau qui est ensuite renvoyée dans les bassins. La ferme Sweet Water Organics à Milwaukee – dans le Wisconsin aux Etats-Unis –élève de cette manière 80 000 tilapias et perches dans des réservoirs surmontés par des lits de culture de laitues. Elle utilise environ 10% de la consommation d'eau nécessaire habituellement.

A Gembloux, une *Plant and fishing farming* ("Paff Box" en raccourci) a vu le jour dans le laboratoire de phytopathologie intégrée et urbain. Elle occupe l'espace d'un conteneur à double étage. En bas, deux bassines à poissons, l'installation électrique et le biofiltre. En haut, une succession de bacs à végétaux, exactement comme dans la serre d'un jardinier amateur. Sauf qu'ici l'eau est partout, baignant les légumes et les plantes ou les irriguant à intervalles réguliers (c'est l'une des expérimentations en cours). Les premiers essais sont très prometteurs. Nouvelle filière en plein essor, l'aquaponie est soutenue financièrement par l'Europe via, notamment, le projet Interreg Smart Aquaponics, coordonné par Gembloux Agro-Bio Tech. Son objectif étant promouvoir l'aquaponie auprès des particuliers, des collectivités et des professionnels au moyen de formations en ligne et d'outils de contrôle numériques.

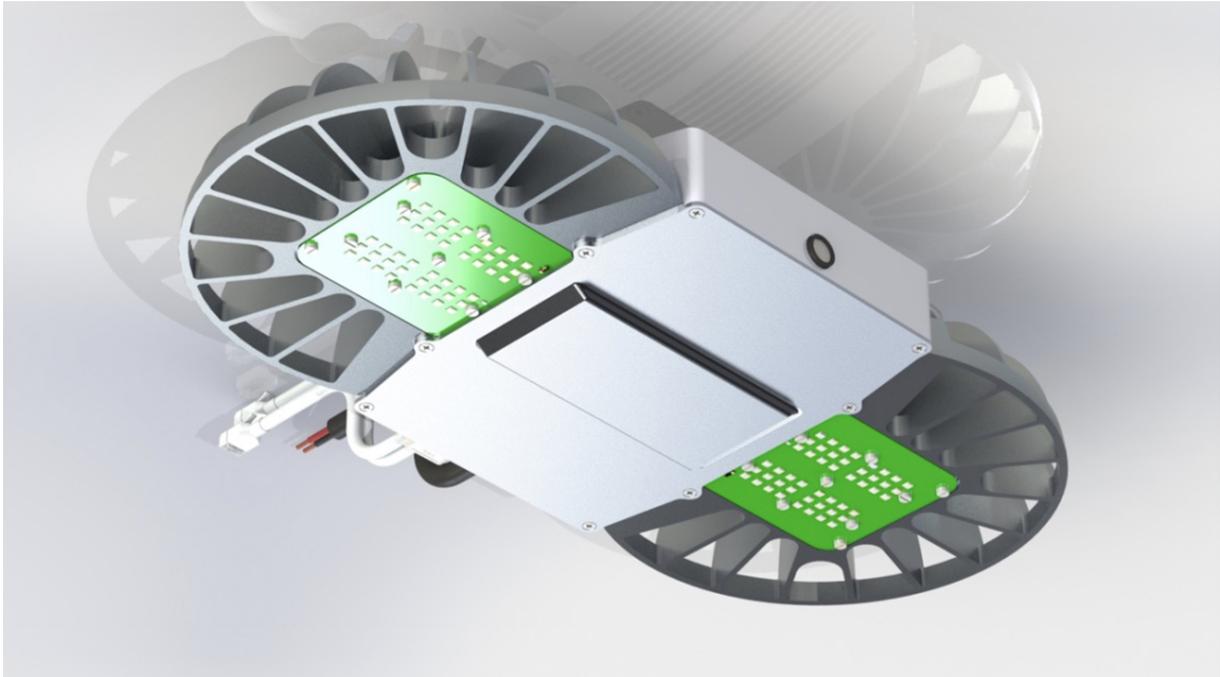
La Plant And Fish Farming Box

La PAFFBox, Plant And Fish Farming Box, est un système aquaponique mis au point par le laboratoire de phytopathologie intégrée et urbaine. Il consiste en un conteneur coiffé d'une serre. Dans ce système l'eau circule en boucle fermée depuis le container qui abrite les poissons et les filtres jusqu'à la serre hydroponique dédiée à la culture en eau profonde (DWC ou RAFT) de divers légumes et herbes aromatiques tels que laitues, basilics,... Ce dispositif expérimental unique, nous permet, depuis plus de 3 ans, d'étudier les performances de productions végétales et animales en aquaponie. La qualité de l'eau, les éléments nutritifs libérés par les poissons et leur flux sont mesurés et suivis sur le long terme.



La PAFF Box sur le Campus de Gembloux Agro-Bio Tech

Des LEDs intelligentes pour améliorer la composition des plantes à haute valeur ajoutée



Luminaire LED à 16 canaux programmables développé par GDTech en collaboration avec l'Uliège dans le cadre du projet "VELIRE" (VEgetable LIght REcipe) financé par la Région Wallonne.

Le projet FEDER "Plant'HP" mené dans le Laboratoire de Physiologie Végétale du professeur Claire Périlleux équipe ses chambres de croissance de luminaires LED à spectre modulable pour explorer les effets de la composition lumineuse sur la croissance et les teneurs en molécules d'intérêt chez des plantes médicinales.

Le concept d'usine végétale -l'utilisation de plantes pour des productions à haute valeur ajoutée - est en plein développement à travers le monde sous forme de nombreux projets technologiques et de modèles économiques innovants. Cette émergence suscite des investissements importants mais pose également des défis et des questions. Entre autres: quelles sont les innovations techniques nécessaires à la viabilité économique de ces nouvelles formes d'agriculture? Un élément clé est le contrôle des conditions de culture qui conditionnent la productivité, notamment pour les molécules à haute valeur ajoutée. Cela explique notamment l'intérêt de plus en plus important porté à la culture "indoor", favorisé par l'émergence des éclairages LED et de la culture hors sol (hydroponie et variantes). Outre une plus grande efficacité énergétique, ces technologies permettent de contrôler précisément les conditions de l'environnement, comme les apports minéraux et la qualité de la lumière, dont on sait déjà qu'elles affectent les qualités nutritives, voire pharmacologiques, telles que le contenu en antioxydants et en vitamines.

Le portefeuille de projets TROPICAL PLANT FACTORY s'inscrit dans le projet institutionnel VERDIR® de l'Université de Liège (Valorisation de l'Environnement par la Réhabilitation Durable et l'Innovation Responsable) et regroupe un ensemble d'initiatives et de compétences scientifiques et industrielles au travers d'une plateforme d'innovation visant à développer une "Usine Végétale" de haute technologie, axée sur la production de biomasse à très haute valeur ajoutée, pour une variété de champs applicatifs tout en valorisant des actifs sous-utilisés (friches industrielles, énergies fatales, rejets de CO₂, ..).



Exemples simples d'environnements lumineux dans des enceintes de culture contrôlée. De gauche à droite: canal "blanc", canaux "rouge + bleu", canal "bleu", canal "rouge", canal "vert". Les plantes cultivées ici sont des Euphorbia peplus dont le latex contient des composés intéressants pour le traitement des kératoses actiniques ("pré-cancers" de la peau causés par une exposition excessive aux UVs).

Au sein du portefeuille, le projet PLANT'HP développe une plateforme d'évaluation du potentiel végétal pour la production de molécules à haute valeur ajoutée. Le projet doit sélectionner le meilleur matériel végétal, définir son environnement optimal pour la production de molécules d'intérêt spécifiques, et développer des méthodes de culture innovantes. Dans ce but, le projet a fait appel à une société liégeoise (GD Tech SuperLighting) pour la fourniture de luminaires LED permettant de moduler le spectre lumineux à volonté.

"En effet, les plantes n'utilisent pas la lumière pour la seule photosynthèse, elles perçoivent également les changements de durée, d'intensité, et de qualité de l'éclairage pour adapter croissance, morphologie et métabolisme à leur environnement immédiat. Par exemple, on sait depuis longtemps que les gammes de longueurs d'ondes rouge, rouge-lointain, et/ou bleue influencent le temps de floraison, l'élongation des tiges, ou l'orientation des feuilles, et on sait aussi depuis peu que la composition en antioxydants et vitamines est également modulée par le rapport rouge/bleu de la lumière. Ou encore, l'exposition aux UV-B active le récepteur UVR8 qui régule l'expression de gènes du métabolisme secondaire actifs dans la résistance au stress oxydatif. Certains métabolites ainsi formés sont également impliqués dans la défense contre les pathogènes et pourraient se révéler intéressants du point de vue pharmacologique" explique le professeur Périlleux.

Trois enceintes de cultures en conditions contrôlées, aussi appelées "phytotrons", ont été équipées de luminaires LED "intelligents" comportant 16 canaux couvrant une gamme de longueurs d'onde allant de l'UV-B (280 nm) au rouge lointain (850 nm). Chaque canal de chaque luminaire peut être programmé en intensité afin de produire un environnement lumineux pré-défini. Les plantes cultivées dans les conditions choisies par les chercheurs pourront ensuite être évaluées en termes de croissance et de qualités compositionnelles.

"Cette technologie nous offre une capacité sans précédent pour explorer l'influence de la composition lumineuse sur les teneurs en molécules d'intérêt chez des plantes modèles et de proposer des scénarios de production optimisés utilisables par les autres projets impliqués dans Tropical Plant Factory" conclut Pierre Lejeune, le chercheur responsable du projet PLANT'HP.

Une nouvelle matière plastique sur le point de révolutionner le secteur des emballages ?

Depuis de nombreux mois, de multiples arguments et remarques dans les médias se succèdent quant aux risques liés à l'utilisation et surtout à la fin de vie inadéquate de nos emballages plastiques, et plus spécialement de nos bouteilles plastiques. Si le risque de persistance de ces « plastiques » dans l'environnement est manifeste, il est à mentionner que ces bouteilles « plastiques » manufacturées en une matière issue de la pétrochimie peuvent aussi intégrer des filières de recyclage adaptées. Il n'en reste pas moins que pour séduire les consommateurs, soucieux de l'état de l'environnement, de nombreuses entreprises se penchent sur des alternatives issues de matières premières renouvelables comme les matières végétales.

Mais au fond, les conséquences sur l'environnement sont-elles aussi minimales qu'annoncées ? Les performances de ces nouveaux matériaux « biosourcés » sont-elles optimales ? Est-ce juste un effet de marketing ? Entre green-washing, effet de mode et/ou réels challenges techniques, une nouvelle molécule, appelée FDCA, serait sur le point de révolutionner l'industrie de la plasturgie.

La plupart d'entre nous avons l'habitude d'employer le mot « plastique » dans notre vie de tous les jours. Dans la presse, sur les réseaux sociaux, nous notons souvent des expressions du type « 570 000 tonnes de plastiques sous l'eau (...) », « la bataille contre le plastique (...) ». Rappelons cependant que, même si dans le langage courant le terme plastique est employé comme un substantif, il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'un adjectif. Les scientifiques parlent donc plus souvent de « matières plastiques », de « matériaux plastiques ». « Plastique », adjectif, fait référence à une matière qui peut être, après chauffage (éventuellement sous des contraintes de pression), moulée pour fournir des objets de formes données ou des matériaux semi-finis.

Ces matières plastiques sont constituées d'une (ou plusieurs) matrices(s) de base appelée(s) polymère(s) qui est (sont) une molécule de grande taille composée de la répétition de plusieurs unités constitutives (identiques ou différentes) appelées monomères. Par analogie, on pourrait simplifier les choses en disant qu'un polymère est un peu comme une chaîne composée de la répétition de plusieurs maillons. Mélangés à ces polymères, on retrouve également des additifs dans une matière plastique qui peuvent être de nature minérale ou organique et qui vont conférer au matériau plastique fini des propriétés spécifiques (coloration, résistance mécanique, propriétés antistatiques, etc.).

La plupart de nos bouteilles d'eau ou de soda sont produites au départ d'un polymère particulier appelé PET (acronyme désignant le poly(téréphtalate d'éthylène)). Ce polymère est dit pétrosourcé car produit au départ de monomères issus des filières pétrochimiques traditionnelles. Deux monomères sont engagés dans la production de PET (qui est une production multi-étape), à savoir d'une part l'éthylène glycol (divers noms existent pour cette molécule (que nous appellerons de manière simplifiée par la suite éthylène glycol), notamment le monoéthylène glycol (simplifié par l'abréviation MEG) souvent d'usage dans des actes techniques) et d'autre part l'acide téréphtalique produits respectivement au départ d'éthylène et de xylène. (Figure 1). Grosso modo, on peut avancer que le PET contient au final environ 70% de son poids en acide téréphtalique et 30% d'éthylène glycol (en raison de la différence de masses entre les deux monomères). La synthèse à proprement parler du PET est simple, par polycondensation, ce qui implique que la réaction dégage un sous-produit : de l'eau.

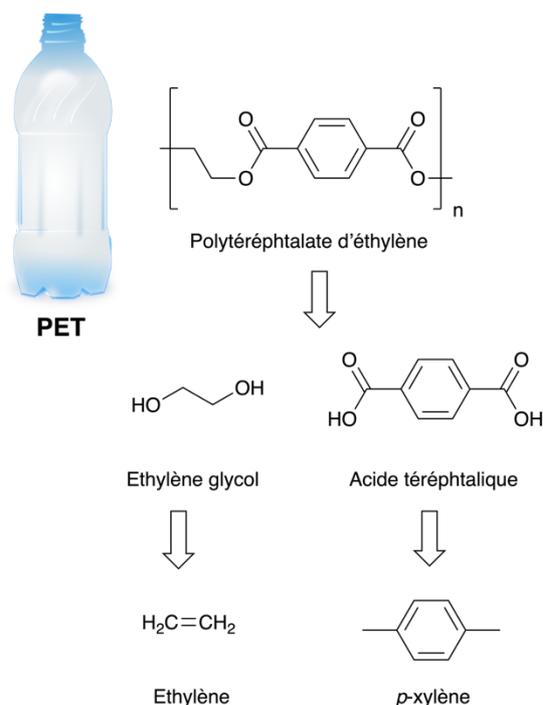


Figure 1. Illustration schématique de la voie de production de PET et des monomères impliqués dans la synthèse chimique.

Une longue histoire industrielle

La production du PET ne date pas d'hier. Deux chimistes anglais, John Rex Whinfield et James Tennant Dickson, déposèrent en 1941 la demande de brevet « polyéthylène terephthalate ». Ce PET, développé à la base pour l'industrie textile, s'offrait comme une alternative bon marché à la soie et au Nylon. La production à large échelle du PET a commencé en 1955 par la compagnie chimique ICI puis s'est étoffée avec des acteurs tels que DuPont. Le PET mis alors en vente sur le marché portait le nom commercial de « Térylène ». Le « Térylène » s'avère souple, résistant tant à des contraintes mécaniques qu'à la moisissure et se retrouve donc sous la forme de fibres dans des t-shirts notamment. Vous connaissez sûrement le térylène...puisque'il s'agit du Tergal (nom donné en français au térylène). Aujourd'hui, sans le savoir, vous portez peut-être dans vos vêtements des fibres de PET. Celles-ci se retrouvent mentionnées sur les étiquettes de composition sous le terme de « polyesters » ou « fibres polyesters » qui sont soit du PET seul, soit des variantes de PET ou bien encore des mélanges de PET avec d'autres polymères de grande consommation comme des polyuréthanes en vue d'accroître la souplesse de ces fibres textiles.

Au-delà de son usage comme fibre, le PET est devenu depuis les années 70 un composant d'intérêt pour le secteur des emballages. Nathaniel C. Wyeth, un ingénieur et inventeur américain, dépose en 1973 un brevet qui va révolutionner les habitudes de consommation : la bouteille en PET venait de voir le jour. Depuis cette date, ce matériau thermoplastique a continuellement été adapté pour répondre aux exigences du secteur alimentaire. L'eau minérale suggère une bouteille hautement transparente. Des boissons plus « sensibles » à la lumière nécessitent une bouteille qui offre une barrière aux UV. Quant aux boissons gazeuses, elles doivent être embouteillées dans des contenants qui résistent à la pression et qui, d'autre part, sont des barrières gazeuses performantes. Ces propriétés spécifiques peuvent être modulées par une modification de la nature intrinsèque de la matière polymère (par exemple le nombre de monomères constitutifs, la cristallinité, etc.) ou par l'ajout maîtrisé de certains additifs.

En septembre 2019, le cours du PET était d'environ 0,9 à 1,3 €/kg pour un PET « bottle-grade » (ce prix pouvant atteindre 1,6 €/kg pour des PET avec des propriétés spécifiques). Cela représente

environ la moitié du prix du polystyrène. Le prix du PET a atteint sa valeur la plus basse en 1999 en raison de la surcapacité de production mondiale et les investissements dans cette production ont été freinés.

Coloré, résistant à la chaleur, au froid, aux chocs, aux boissons acides, transparent, opaque, le PET se décline en multiples options dans le secteur de l'emballage. Servant aussi bien pour les boissons que pour les cosmétiques, produits d'entretien, et certains médicaments, le PET devient une solution de choix aussi bien pour nos boissons gazeuses, nos sauces, nos sodas, nos gels douche ou nos sirops contre la toux. Diverses entreprises se sont spécialisées dans la production de ce PET et/ou de « mélanges » PET et additifs, alors que d'autres se sont spécialisées dans le moulage et la conception de nouveaux designs de packaging. Certaines compagnies ont d'ailleurs volontairement opté pour le PET en lieu et place de l'aluminium dans le conditionnement de boissons gazeuses.

Conformément à la décision de la Commission européenne du 28 janvier 1997, il est obligatoire d'apposer sur des objets en matières plastiques un code spécifique connu sous le nom de « système de codage SPI d'identification des résines ». Concrètement, chaque objet en matière plastique est associé à un pictogramme (le plus souvent « gravé » sur l'objet en question) se présentant sous la forme d'un ruban de Möbius. Au cœur de ce triangle, on retrouve un chiffre allant de 1 à 7. Sous le pictogramme, les initiales (acronyme) du polymère employé sont parfois mentionnées. Le code 01 se rapporte au PET (parfois aussi dénoté PETE). (Figure 2) Les codes 02, 03, 04, 05, 06 et 07 se rapportent respectivement au polyéthylène haute densité, au PVC, au polyéthylène basse densité, au polypropylène, au polystyrène et aux autres plastiques (polycarbonates, nylon, acrylique). Pour votre information, seuls les emballages alimentaires portant les numéros 02, 04 et 05 peuvent être chauffés sans danger pour la santé. Vous l'aurez donc bien compris, le PET avec son code 01 ne peut pas être chauffé, même aux micro-ondes.



Figure 2. Sigle d'identification du PET

Ce sigle caractéristique avec le ruban de Möbius traduit le fait que le PET est recyclable dans des filières de recyclage adaptées. Attention, cela ne veut pas dire que le PET est biodégradable ou que le contenant que vous avez entre les mains a été recyclé. Il s'agit juste ici d'un pictogramme mettant en évidence la composition chimique du matériau et le code relatif à sa procédure de recyclage.

Le PET : entre phtalates et pollution ?

Léger, facile, souple, résistant, le PET séduit les industriels. Le PET a représenté sur l'année de référence 2015 environ 7 % de la demande de matières plastiques, soit 18,8 millions de tonnes (sur une production totale de 269 millions de tonnes). Sur la production annuelle en PET, environ 30% sont destinés à la production de bouteilles, 67% pour la production de fibres et les 3% restants sont destinés à d'autres usages (comme la production de films). Sur l'année 2008, la production de bouteilles en PET a été estimée à plus de 200 milliards d'unités.

Contrairement à ce qu'on entend souvent dans la presse, le PET ne contient pas de phtalates.... La similitude entre le nom complet du PET (poly(téréphtalate d'éthylène)) et le mot « phtalate » entraîne parfois des confusions inutiles auprès du grand public. (La problématique des phtalates mise en évidence par certains chercheurs fin des années 90 est liée à la migration vers les denrées alimentaires des phtalates libres qui sont ajoutés comme additifs à certains polymères. Le PET ne doit donc pas être confondu par exemple avec du polyéthylène dans lequel sont intégrés des phtalates. Dans le cas du PET, la liaison forte, de nature covalente, entre les unités d'acide téréphtalique et les unités d'éthylène glycol empêche le « décrochage » de motifs phtalates et leur migration vers nos aliments, boissons, etc.)

Diverses études pointent également du doigt la présence « de métaux lourds fortement toxiques » migrant des contenants en PET vers les aliments stockés. Ces métaux lourds sont en réalité de l'antimoine et certains de ces dérivés. Utilisé comme catalyseur dans la production du PET, l'antimoine peut être encore présent à l'état de traces infimes, mais sa valeur reste bien en-dessous des valeurs limites autorisées. L'acétaldéhyde, autre composant pointé du doigt quand on parle de PET, est un sous-produit provenant de la dégradation thermique du PET. Cette molécule peut se retrouver ainsi générée lors de la phase de chauffage du PET soit en vue de son moulage soit lors d'une mauvaise utilisation domestique du contenant. Rappelons que l'acétaldéhyde est un additif alimentaire (utilisé comme arôme), autorisé et légal, et que cette molécule n'est présente qu'à l'état de traces (aux alentours de 4-5 ppm). Si les industriels sont particulièrement vigilants quant aux concentrations en acétaldéhyde, c'est parce que cette molécule a une saveur et un arôme prononcés, ce qui lui permet de modifier le goût et la saveur des aliments conditionnés en PET, en particulier l'eau minérale.

Si le PET est si largement plébiscité dans le domaine des emballages, c'est parce qu'il est chimiquement inactif et hautement résistant aux attaques microbiennes. Cet « avantage » est également le plus gros défaut de cette matière plastique freinant sa (bio)dégradation, et générant une accumulation de déchets plastiques responsable de pollution environnementale et de menaces sur les écosystèmes. La plupart de la production en PET étant destinée à usage unique, on peut considérer que près de 95% de la valeur marchande du PET est perdue après une courte première utilisation. La perte totale due à cette dépréciation peut atteindre 80-120 US dollars par an (valeur cumulée pour tous plastiques à usage unique). Pour résoudre ces problèmes, divers programmes de recyclage ont été lancés au cours des dernières décennies, notamment le recyclage et la réutilisation des matériaux d'emballage plastique.

Divers chercheurs se concentrent également sur l'amélioration de la biodégradation du PET. Diverses pistes sont ainsi évoquées. Il est ainsi possible de sélectionner des microorganismes spécifiques capables de dégrader le PET en ses monomères constitutifs, à savoir l'éthylène glycol et l'acide téréphtalique. Il s'agit dans ce cas de dépolymériser totalement le polymère et non de le morceler (dégradation plutôt mécanique qui engendrerait alors des micro-plastiques qui sont des particules de très petites tailles). Il est cependant à noter que ces micro-organismes ne sont pleinement actifs que dans des conditions précises (pH, hydrométrie, température notamment) et qu'une amélioration des connaissances fondamentales associées à ces micro-organismes en un prérequis à un transfert au stade industriel. Des recherches encore plus récentes montrent qu'il est possible par une combinaison de plusieurs bactéries de décomposer le PET non plus en ses monomères constitutifs, mais cette fois en eau et en dioxyde de carbone. (Figure 3)

Une autre stratégie consiste à intégrer dans la matrice de PET (avant son moulage en produits finis ou en objets), des additifs qui vont aider le PET à se dégrader plus facilement dans la nature. Cette technique est encore en phase d'exploration dans les laboratoires.

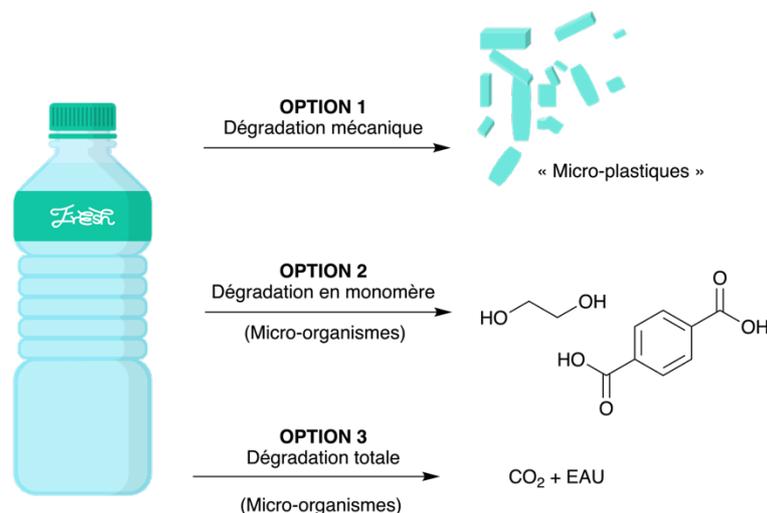


Figure 3. Illustration très schématique de la dégradation du PET en micro-plastiques (option 1), ou dégradation maîtrisée en monomères et/ou en eau et dioxyde de carbone (options 2 et 3).

De manière globale, on estime les impacts environnementaux du PET à une émission d'environ 2,2 à 4,1 kg CO₂/kg de PET produit et à une demande énergétique fossile totale de 69-95 MJ/kg de PET produit. Néanmoins, ces valeurs, dépendent de plusieurs facteurs externes, comme la nature et les paramètres du procédé de production ou de moulage, la localisation géographique des unités de production, etc.

Le PET, la matière plastique la plus recyclée au monde ?

Le PET est la matière plastique qui est la plus recyclée au monde !! Le taux de recyclage « post-consommation » atteignait environ 31% en 2012 aux États-Unis alors que l'Europe fait office de bon élève avec un taux de recyclage de plus de 52%. On estime actuellement que le PET représente moins de 0,5-1% du contenu des poubelles ménagères dans les pays les plus industrialisés compte tenu de l'efficacité des approches de tri sélectif. La directive européenne EU 2018/851 impose par ailleurs aux états membres des taux de recyclage et de réutilisation du PET supérieurs à 50%.

Si ces options de recyclage sont performantes dans nos pays, il n'en reste pas moins qu'elles sont peu abouties voire inexistantes dans certains pays en développement ou émergents. Un pays comme l'Inde génère à lui seul environ 26 000 tonnes de déchets plastiques par jour, majoritairement composés de PET (bouteilles), de polyéthylène (sachets) et de PVC. Si certains de ces déchets sont récupérés après consommation, une large quantité reste cependant déversées dans la nature.

Le PET recyclé est annoté « RPET » ou « rPET » et peut être réutilisé dans des applications diverses comme des fibres textiles pour les t-shirts, tapis, carpettes, chaussures, bagages, fibres pour des applications dans le secteur de l'automobile ou nouvelles bouteilles en PET. (Figure 4).

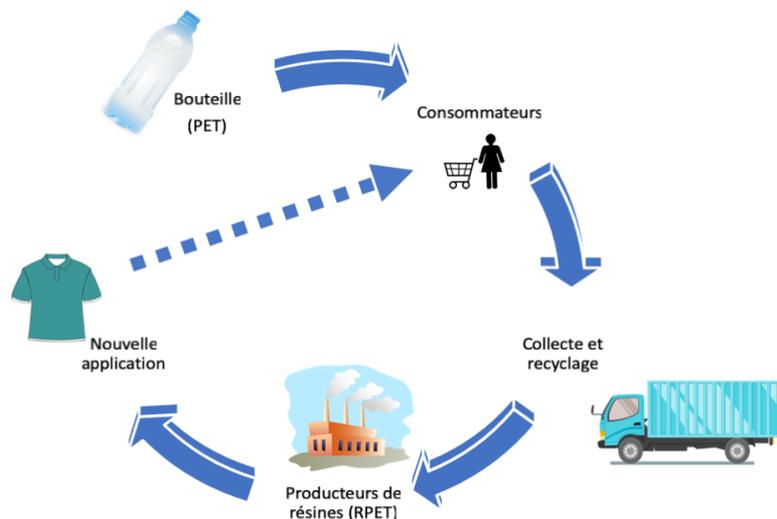


Figure 4. Illustration d'un cheminement de recyclage d'une bouteille en PET en RPET.
Des alternatives « naturelles » au PET ?

On l'aura ainsi compris, le PET est bon marché, et présente des propriétés applicatives hautement appréciables pour le secteur de l'emballage. Qui plus est, il est recyclable. Néanmoins, dans une quête de matériaux non issus des ressources fossiles, plus « renouvelables », et plus « rassurants » pour le grand public, les chercheurs et les industriels se penchent actuellement vers la conception de nouveaux polymères issus de la biomasse végétale. Des géants de l'industrie agroalimentaire comme Pepsi Co, Coca Cola, Nestlé Danone, et d'autres ont tous envoyés des messages de communication en ce sens et investi dans la recherche pour de nouveaux « bioplastiques ». (Un bioplastique est par définition un matériau de type plastique produit au départ de matières premières renouvelables, le plus souvent de nature végétale. Attention que le terme de bioplastique ne signifie pas biodégradable. Au même titre, il est possible de synthétiser des bioplastiques qui sont des analogues parfaits des plastiques conventionnels pétro-sourcés, avec les mêmes molécules.)

Sous l'annonce de la production de nouvelles bouteilles issues de la biomasse, le consommateur doit cependant rester vigilant et critique. En effet, il est tout à fait possible de produire du PET au départ de la biomasse et non plus au départ de pétrole. La différence ? Aucune ! En effet, la molécule, même si elle n'est pas issue de la même matière première, est identique. Elle possède les mêmes propriétés applicatives (ce qui évite aux fabricants de changer leur chaîne de production d'emballages et de moulages) et aussi les mêmes problématiques de fin de vie.

Une autre approche technologique consiste à remplacer certains monomères constitutifs du PET par des molécules différentes issues de la biomasse. Dans ce cas, la fin de vie du matériau peut être améliorée. On peut ainsi concevoir des bouteilles pour nos boissons qui pourraient être complètement biodégradables, voire même « compostables ».

Divers chercheurs explorent ainsi de remplacer l'acide téréphtalique (qui rappelons le représente environ 70% de la masse du matériau) par une alternative venue tout droit de la biomasse et en particulier... d'un sucre. Le glucose ou le fructose qui sont deux sucres que nous connaissons bien et que nous consommons tous les jours peuvent ainsi être transformés en une molécule appelée le FDCA (acronyme de « acide 2,5- furandicarboxylique ») dont la structure chimique ressemble un peu à l'acide téréphtalique. Le nouveau polymère ainsi produit s'appelle le PEF (acronyme de polyéthylène furanoate). Il est également possible de synthétiser l'éthylène glycol au départ d'une autre molécule phare dans la bioéconomie, à savoir l'éthanol pour obtenir un PEF « 100% végétal ». (Figure 5) C'est vers cette piste opportuniste que des compagnies comme Coca Cola s'orientent actuellement, après avoir signé des partenariats stratégiques avec des sociétés comme Aventure.

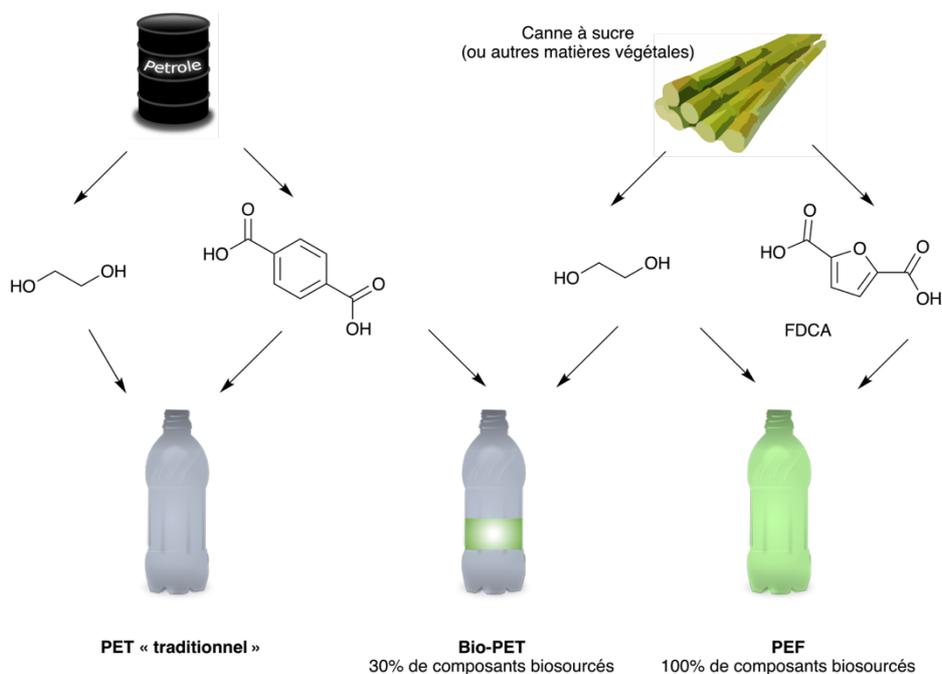


Figure 5. Illustration simplifiée de la production de PET « classique », de « Bio-PET » intégrant 30% en masse de molécules biosourcées et de PEF produit essentiellement au départ de biomasse végétale.

Actuellement, diverses bouteilles de « Bio-PET » se retrouvent sur le marché. Elles intègrent environ 30% de composants biosourcés, en particulier d'éthylène glycol qui est obtenu au départ de bioéthanol.... Ce bioéthanol, connu pour ses applications comme biocarburant, se retrouve ainsi exploité comme molécule de base pour la production d'éthylène biosourcé qui est ensuite converti en éthylène glycol. D'un point de vue économique, une des matières végétales la plus pertinentes pour cette production multi-étape au départ de bioéthanol est la canne à sucre, produite massivement au Brésil. D'autres options plus locales de matières premières sont aussi à l'étude en Europe et aux États-Unis comme notamment certains résidus agricoles, ou certaines cultures dédiées comme le miscanthus et le switchgrass. Ces matières, plus complexes, sont cependant techniquement plus compliquées à convertir que la canne à sucre et nécessitent donc des voies de traitement lourdes, énergivores et génératrices de sous-produits et d'effluents.

Notons cependant deux points importants. Le premier est que le Bio-PET reste du PET... puisqu'il s'agit intrinsèquement de la même molécule. Le second est que le bénéfice environnemental global de ces approches restent incertain et encore à l'étude. Une étude récente a ainsi mis en évidence une réduction du potentiel de réchauffement global de 45% combinée à une économie de 35% en énergie renouvelable si on manufacturait du Bio-PET au départ de canne à sucre produite au Brésil et si on diminuait le poids de nos bouteilles. Néanmoins, cette étude ne tient pas compte des impacts associés à la culture de la canne à sucre (apport en azote, modification des écosystèmes, etc.). Ces bouteilles en « Bio-PET » mises en circulation sur notre marché sont aisément reconnaissables par des sigles ou marques d'identification spécifique de type « bouteille végétale », « bouteille issue du végétal », « BIO », etc. (Figure 6) En aucun cas, cela signifie qu'elles sont biodégradables, plus « vertes », ayant « moins d'impact sur l'environnement » ou produites au départ de ressources végétales locales.



Figure 6. Logo typique spécifiant la présence d'un emballage en « Bio-PET ». Dans ce cas, cette bouteille contient 14% de composants d'origine végétale.

Vers du « 100% végétal »

La production de PEF (100% végétal) reste celle qui est au cœur des plus grands enjeux économiques et environnementaux. Possédant des propriétés analogues aux PET, le PEF est cependant biodégradable et sa persistance dans l'environnement est donc évitée. Les chercheurs en industriels sont cependant confrontés à divers challenges tant économiques et environnementaux que techniques. La demande du marché en matériaux pour emballage ne cesse d'augmenter. Satisfaire la demande implique donc de mobiliser des quantités de biomasse végétale très importantes....

Les coûts de production du PEF restent encore largement supérieurs à ceux du PET classiques ou ceux du Bio-PET. La raison est liée à la difficulté d'obtenir le FDCA avec de bons rendements, avec des puretés suffisantes. La production de FDCA au départ de matières végétales locales (comme des résidus agricoles) est notamment à l'étude par divers académiques et industriels. Une équipe de l'Université de Liège (en collaboration avec l'Université de Mons) a ainsi mis au point une approche innovante, qui utilise des techniques propres et qui permettrait de produire du FDCA au départ de matières « locales » dans une optique d'économie circulaire, avec des coûts de production compétitifs. Bois, écorces, résidus agricoles comme des pailles de céréales, miscanthus, chanvre, taillis courte rotation, plantes cultivées sur sites marginaux ou même résidus des filières alimentaires pourraient être convertis par cette approche innovante en FDCA.

Un chercheur de l'ULiège a également mis au point un nouveau solvant, recyclable, totalement issu de ressources renouvelables, qui ne nécessite pas d'apport énergétique et qui permettrait l'obtention efficace de FDCA. Néanmoins, cette voie de production et de synthèse ne présente un intérêt que si les impacts environnementaux globaux sur l'ensemble de la chaîne de valeur de ce nouveau PEF sont avantageux.

Le mot de la fin

Initialement manufacturé pour des applications textiles, le PET reste l'un des matériaux plastiques les plus utilisés dans notre vie de tous les jours. Les projections mentionnent ainsi une croissance du marché de 5,33% attendue à 5 ans. La biodégradation faible de ce matériau, combinée à d'éventuelles mauvaises pratiques de recyclage, est responsable des phénomènes de « pollution plastiques ». Une meilleure sensibilisation aux approches de tri sélectifs et de recyclage dans certains pays émergents et/ou en développement doit donc figurer comme une priorité absolue.

Le « Bio-PET », aussi appelé « PET végétal » est exploité depuis quelques années dans des emballages et bouteilles en Europe. Contenant 30% environ en poids de molécules issues de la biomasse, le « Bio-PET » est en tous points identiques au PET conventionnel et n'est dès lors pas

biodégradable. La production d'alternatives « 100% végétal » est concevable, ce qui est le cas du PEF qui est biodégradable. Cependant, les coûts de production élevés sont à mettre à relation avec la complexité de transformation de la biomasse végétale en composés d'intérêt et aux rendements de conversion encore assez limités.

Si les consommateurs semblent craindre l'image du PET, il reste à mentionner que cette matière plastique reste antibactérienne, et légère, ne présentant aucun contaminant et donc parfaite pour des usages en lien avec l'agroalimentaire. Trouver des solutions issues des ressources renouvelables est donc d'intérêt, mais nous conseillons à nos décideurs de faire preuve d'esprit critique. La promesse du végétal, au-delà de son intérêt commercial, pourrait être une source méconnue de pollution latente. Si l'EU-28 impose des directives dans le choix raisonné et maîtrisé des matières premières dans les productions de biocarburants, il serait intéressant que le monde politique et économique se positionne sur les options végétales exploitables pour les matériaux, sans risque de compétition d'usage et sans risque pour les écosystèmes existants. La proposition de labels spécifiques, non mentionnés sur les emballages en bioplastiques actuels, serait fortement recommandée.

« Biocarburants », « carburants de synthèse », « kérosène vert » ou l'éloge de la diversité terminologique

Existe-t-il différents types de nouveaux carburants ? Sont-ils différents des carburants traditionnels issus du pétrole ? Est-ce correct d'affirmer qu'un carburant est vert ? La problématique des carburants est complexe à aborder. Une précision du vocabulaire d'usage est une priorité.

Depuis de nombreux mois, les débats et prises de parole s'animent sur les « carburants renouvelables », le « kérosène vert », les « hydrocarbures verts », les « carburants alternatifs » et autres variantes. Force est cependant de constater que le non-spécialiste pourrait s'y perdre dans cette foule d'options terminologiques. Dans tous les cas, on parle ici d'une seule et unique chose à savoir des carburants liquides pour le transport. On parle donc de matières possédant un contenu énergétique intrinsèque. Si les débats se focalisent surtout ces derniers temps sur les carburants liquides pour le transport aérien, le terme de carburants liquides pour le transport (CLT) concerne aussi le transport routier, de même que le transport maritime (trop souvent ignoré).

Le terme « vert », de plus en plus présent tel un étendard ou un gage de qualité environnementale, invite quant à lui à la plus grande prudence. L'usage du terme « vert » peut se décliner comme un argument de communication et ne refléter en rien une quelconque amélioration environnementale, tant d'un point de la manufacture du dit carburant que d'un point de vue de son usage et de sa fin de vie.

La problématique des carburants liquides reste donc complexe à aborder. Une précision, une explication vulgarisée, du vocabulaire d'usage dans la communauté scientifique sur cette thématique aussi stratégique s'impose donc à nos yeux comme une priorité.

1) Carburants liquides de transport

Un carburant liquide (liquid fuel en anglais) fait référence à une matière composée de molécules combustibles ou génératrices d'énergie qui peuvent être exploitées pour créer de l'énergie mécanique, produisant généralement de l'énergie cinétique.

La plupart des carburants liquides largement utilisés dans le monde sont dérivés de combustibles fossiles (le plus souvent du pétrole mais aussi du gaz naturel ou du charbon) mais il existe plusieurs autres variantes comme l'éthanol ou le biodiesel qui eux sont issus de la « biomasse » (terme exploité de manière abusive pour désigner les ressources végétales renouvelables). L'éthanol et le biodiesel sont donc aussi classés sous le terme générique de « carburants liquides ». Aujourd'hui, les carburants liquides sont produits à plus de 80% au départ du pétrole.

En l'état, le pétrole n'est pas exploitable. C'est un mélange très hétérogène de molécules (entités chimiques) qu'il faut traiter au travers d'opérations dites de raffinage. Concrètement, ce raffinage va permettre de séparer efficacement les composants du pétrole en fractions valorisables tels que des produits non énergétiques (ex. bitume, lubrifiants, etc.) ou des produits énergétiques (comme le diesel, l'essence, le kérosène, le mazout de chauffage mais aussi le fioul lourd pour le transport maritime). (Figure 1)

Les carburants liquides utilisés pour le transport sont des mélanges d'hydrocarbures (molécules composées de carbone et d'hydrogène, saturées, insaturées ou aromatiques), obtenus par raffinage pétrolier, se différenciant par leur nombre d'atomes de carbone constitutifs. Les carburants liquides se différencient par leur température d'ébullition, mais aussi par certaines de leurs propriétés physico-chimiques (viscosité, point flash, etc.). L'essence par exemple présente des chaînes d'hydrocarbures plus petites que celles retrouvées dans du diesel de roulage.

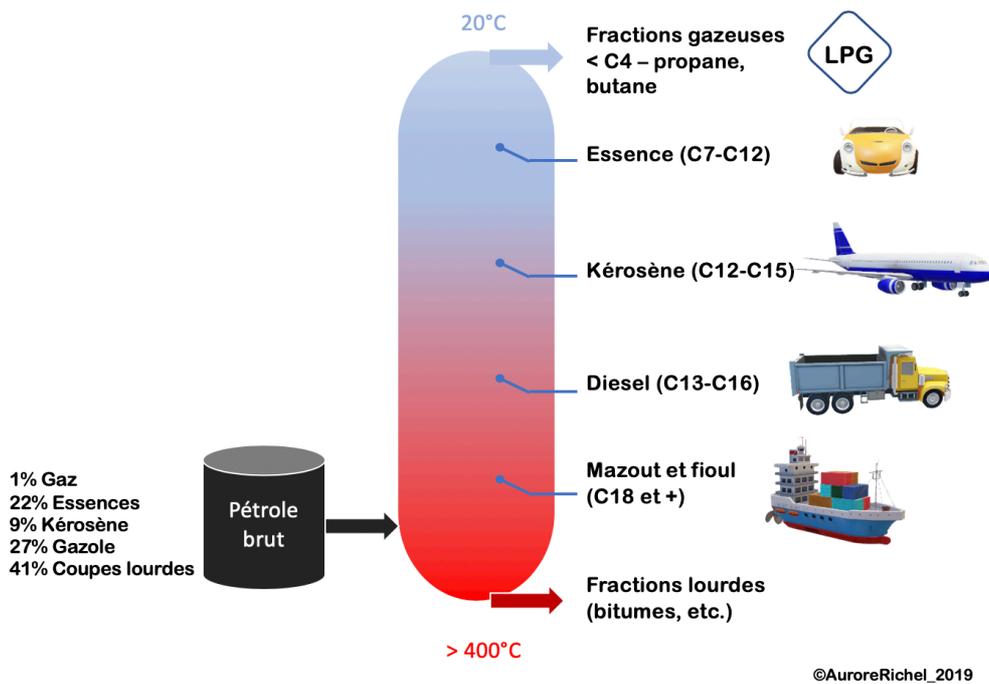


Figure 1. Illustration très schématique du raffinage pour l'obtention de fractions énergétiques de type carburants liquides de transport (avec quelques exemples non exhaustifs)

2) Carburants de synthèse

Les carburants de synthèse, aussi appelés carburants synthétiques (synthetic fuels en anglais), sont aussi des mélanges d'hydrocarbures, mais obtenus cette fois à partir d'autres ressources que le pétrole comme le charbon, le gaz naturel, la biomasse végétale ou certains types de déchets ménagers ou industriels.

Typiquement ces intrants vont subir une première conversion thermochimique (à très hautes températures) qui va les convertir en un mélange de monoxyde de carbone (CO) et de dihydrogène (H₂). Ce mélange va ensuite être traité dans des conditions spécifiques, en présence d'un catalyseur (à base de nickel, ou de fer, de ruthénium, de cobalt, etc.), pour donner au final un carburant de synthèse, soit de l'essence, du diesel ou bien du kérosène. (Figure 2) Ce procédé est connu sous le nom de procédé de Fischer-Tropsch (aussi mentionné par son abréviation « FT »).

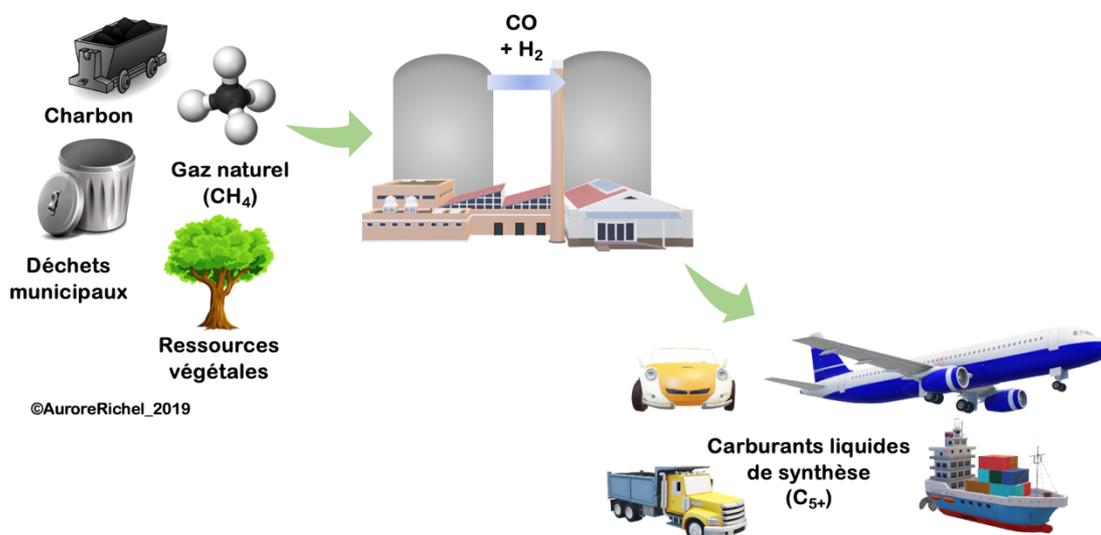


Figure 2. Illustration du procédé de Fischer-Tropsch permettant l'obtention de carburants liquides de synthèse pour le transport

En fonction de la nature de la matière première, on parle des filières « CTL » (ou Coal-to-Liquid, c'est-à-dire l'obtention de carburants de synthèse au départ de charbon), « BTL » (Biomass-to-Liquid quand la matière première est de la biomasse) ou « GTL » (Gas-to-liquid pour les productions au départ de gaz naturel). Ces filières sont parfois décrites génériquement par l'abréviation « xTL ». Le « diesel xTL » (norme EN 15940) est donc un mélange d'hydrocarbures obtenus par ce procédé de Fischer-Tropsch au départ de diverses matières premières. Le diesel GTL (produit par Shell) est donc un mélange d'hydrocarbures de type diesel obtenus au départ de gaz naturel.

D'autres variantes terminologiques sont également trouvées dans les actes scientifiques. Un produit de type « FT essence » est donc un mélange d'hydrocarbures de type essence obtenus par le procédé de Fischer-Tropsch sans précision de la matière première exploitée (qui peut être n'importe quoi sauf du pétrole). Un FT-kérosène est donc un kérosène de synthèse obtenu par un procédé de Fischer-Tropsch sans précision de la matière de départ.

La confusion est donc de mise dans cette multitude de variantes de dénomination. Néanmoins, dans tous les cas de figure, on parle bien de mélanges d'hydrocarbures dont la composition chimique est un peu différente de ceux obtenus par raffinage pétrochimique. Gros avantage, les carburants de synthèse ne contiennent pas de soufre ou de composés aromatiques.

A noter également que cette approche alliant conversion thermo-chimique suivie d'une réaction de Fischer-Tropsch n'est pas uniquement limitée à la production de carburants mais qu'il est aussi envisageable de produire d'autres molécules à destination du secteur chimique (alcools, acétone, entre autres).

Le procédé de Fischer-Tropsch, bien que décrit dans plusieurs milliers d'articles scientifiques depuis les années 2000, est cependant assez ancien dans l'histoire industrielle. Mis au point dans les années 1920, ce procédé a connu une exploitation massive durant la seconde guerre mondiale par l'Allemagne produisant plusieurs dizaines de milliers de barils par jour de carburants liquides au départ de charbon (assurant ainsi plus de 50% des besoins totaux en combustibles et plus de 90% des besoins en carburants pour l'aviation). A la fin du conflit, les usines allemandes de production de ces carburants de synthèse ont été très endommagées par les bombardements alliés et le procédé

est tombé en désuétude. Un regain d'intérêt est mentionné dans les années 1950 par l'Afrique du Sud, suite à l'isolement du pays en pleine Apartheid qui développa des unités mécanisées au départ de charbon (unités CTL). Ces unités sont toujours opérationnelles et couvraient au début des années 2000 plus de 2/3 des besoins combustibles d'Afrique du Sud. La société Sasol, dont le siège social est à Johannesburg et qui a initié ce projet dans les années 1950 est aujourd'hui un des acteurs majeurs en production de carburants de synthèse par le procédé de Fischer-Tropsch.

Les fluctuations des cours du pétrole, combinées à des stratégies géopolitiques, économiques, et de sécurisation de filières d'approvisionnement ont depuis les années 2000 positionné le procédé Fischer-Tropsch comme une option prioritaire. Shell a ainsi ouvert l'un des plus grands sites de production (de type GTL, donc au départ de gaz naturel) au Qatar en 2011. La Chine quant à elle caracole toujours en tête des projets de type CTL (donc au départ de charbon) avec des partenariats avec le groupe Shell ou le groupe Sasol. La Chine prendrait ainsi une avance sur cette production de carburants synthétiques.

3) E-carburant

Un e-carburant (e-fuel en anglais) est aussi un carburant de synthèse, massivement développé et promu par le groupe allemand Audi. Ce e-carburant repose sur une séquence d'étapes de production intégrant en étape préliminaire l'utilisation de dioxyde de carbone (CO_2) capté de l'atmosphère ou de rejets industriels et d'hydrogène (H_2) obtenu par électrolyse de l'eau. Le méthane (c'est-à-dire un analogue du gaz naturel) ainsi obtenu est ensuite traité conventionnellement par le procédé de Fischer-Tropsch que nous avons décrit précédemment. (Figure 3) Dans ce cas aussi, nous avons bien un carburant de synthèse, qui est également un mélange d'hydrocarbures et qui peut donc se décliner en e-essence, e-diesel, etc.

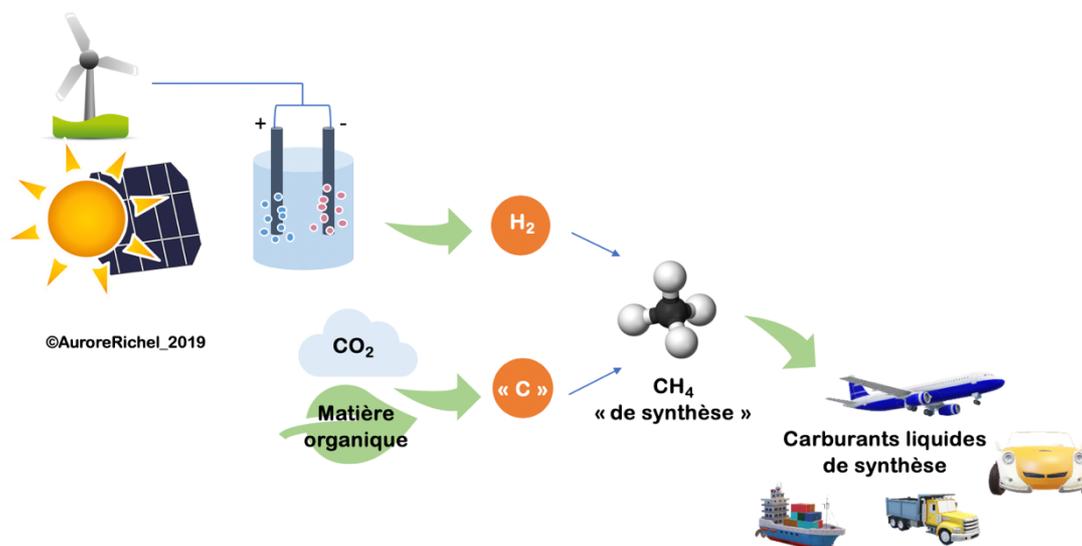


Figure 3. Illustration d'une variante de procédé avec synthèse de méthane obtenu au départ de CO_2 et de H_2

La réaction qui permet de combiner le CO_2 et l'hydrogène pour en former du méthane (et de l'eau) est connue sous le nom de réaction de Sabatier. Déjà connue pour produire du méthanol, elle est revenue sur le devant des réflexions dans la perspective des voyages habités sur Mars, permettant de produire au départ des gaz de l'atmosphère de la planète Mars de l'eau et du méthane de synthèse, exploitable directement comme carburant.

Cette option de production de carburants de synthèse est aussi désignée sous le concept anglais de « power-to-fuel » (PtG). Promu par des états comme le Danemark, l'Allemagne ou la France, il

permettrait d'offrir une voie de stockage et de valorisation de l'électricité excédentaire (notons que le procédé peut être arrêté avant l'étape de Fischer-Tropsch et produirait ainsi du méthane « non fossile » pouvant être réinjecté sur le réseau de distribution). Diverses options sont également opérationnelles, notamment via l'exploitation du CO₂ qui proviendrait des rejets des unités de biométhanisation des déchets organiques (particulièrement présentes en Europe de l'Ouest). Notons aussi que divers projets étudient aussi la possibilité d'utiliser directement le biogaz issu de biométhanisation pour obtenir des carburants liquides par le procédé de Fischer-Tropsch.

4) Carburants avancés, carburants alternatifs et biocarburants

Les carburants alternatifs (alternative fuels en anglais), aussi connus sous le nom de carburants avancés (advanced fuels en anglais) font par définition référence à toutes les options de carburants liquides issus de ressources autres que les ressources fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon). Un carburant alternatif peut donc être un biocarburant (carburant produit au départ de la biomasse), un carburant produit au départ de déchets ou sous-produits (qu'ils soient organiques ou pas). Le terme de carburant avancé fait aussi référence aux options de stockage « chimique » de l'électricité comme les batteries par exemple. Un carburant alternatif peut aussi faire référence à des gaz comme l'hydrogène, le méthane, etc.

Bref, le terme de carburant alternatif quand il est employé pour désigner des carburants pour le transport désigne toutes les options de carburants envisageables pour peu qu'elles ne soient pas issues de ressources fossiles traditionnelles.

Alors que la langue anglaise ne reconnaît que le terme de biofuel pour désigner un carburant produit de la biomasse, la langue française démontre plus de richesse. On trouve ainsi fréquemment l'appellation de biocarburant côtoyer celle d'agro-carburant, de carburant végétal, de carburant vert (la couleur verte faisant ainsi référence à la couleur symbolique du monde végétal) ou de carburant de première, ou de seconde génération ou carburant cellulosique. Tout cela revient à peu de choses près à la même chose. Il n'en reste pas moins que de petites subtilités pointent parfois le bout de leur nez.

La Figure 4 illustre la production de bioéthanol au départ de ressources végétales qu'elles soient à vocation primaire alimentaire (comme le blé, le maïs, la canne à sucre) ou non alimentaire (cultures dédiées comme le miscanthus, le bois, les déchets agricoles, etc.). La production de bioéthanol repose sur une fermentation de certaines molécules renouvelables (de type « sucres ») contenues dans ces ressources végétales. On obtient ainsi de l'éthanol, mais ce procédé peut également fournir des variantes comme le butanol, qui sont des alcools exploitables comme carburants liquides pour le transport (seuls ou en mélange avec de l'essence conventionnelle selon la législation en vigueur). L'indication E10 à la pompe fait ainsi référence à une essence contenant 10% en volume de bioéthanol.

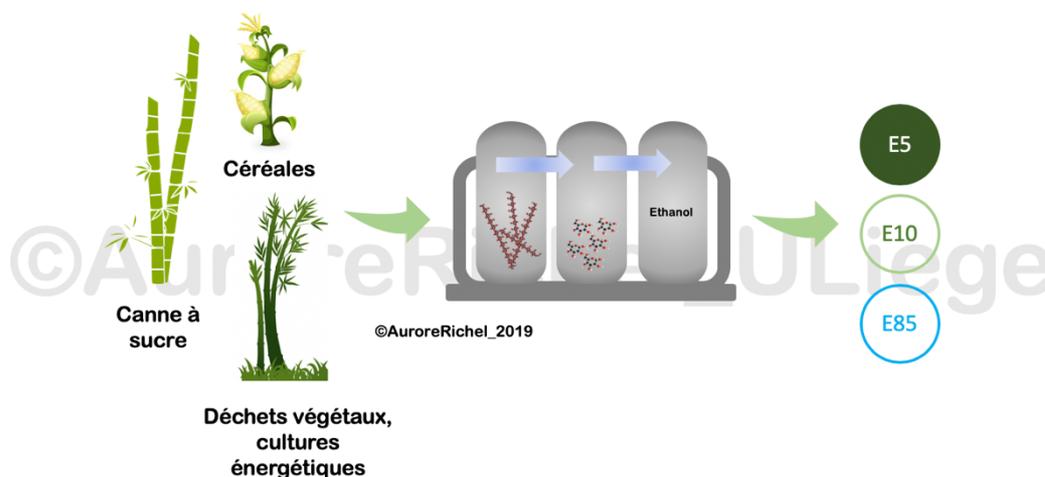


Figure 4. Illustration schématisée de la production de bioéthanol au départ de la biomasse

Le biodiesel quant à lui est produit au départ de ressources renouvelables riches en lipides (huiles, graisses) contenues dans des plantes spécifiques (comme le colza, le tournesol mais surtout le palmier à huile) ou provenant des filières de recyclage (huiles usagées). Les algues sont aussi des matrices de choix pour l'obtention de biodiesel.

La production de biodiesel se fait quant à elle par voie chimique. Le biodiesel est donc un mélange de molécules de type lipides ayant subi un traitement chimique. Le biodiesel est aussi désigné par certains sous l'acronyme de FAME (qui est en réalité l'acronyme donné aux molécules chimiques qui composent le biodiesel – Fatty Acids Methyl Esters) (Figure 5). Les FAME sont aussi le plus souvent utilisés en mélange avec du diesel conventionnel. L'indication B7 à la pompe fait ainsi référence à un diesel de roulage qui contient 7% en volume de biodiesel. Ces FAME sont des molécules qui sont différentes des molécules contenues dans un diesel xTL. Même s'il s'agit de deux carburants alternatifs, ces produits ne sont pas obtenus par les mêmes procédés et ne sont donc pas composés des mêmes molécules chimiques.

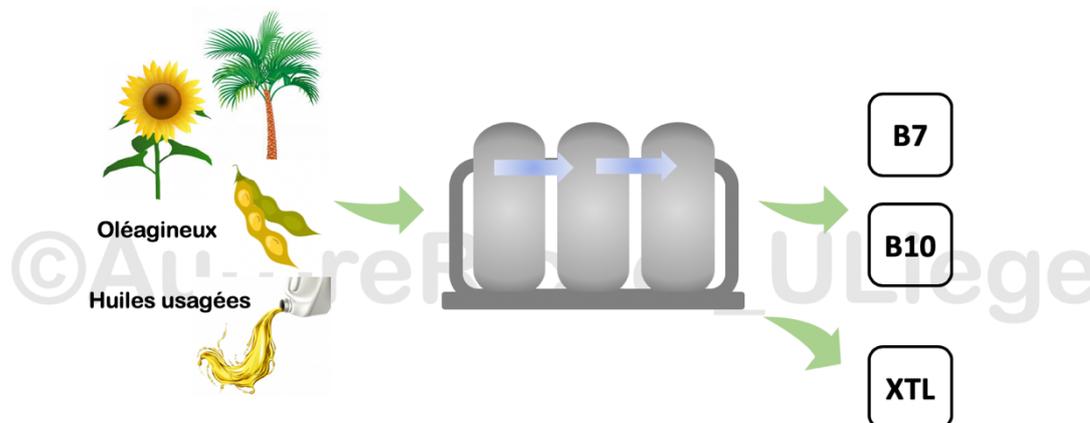


Figure 5. Illustration schématisée de la production de biodiesel au départ de la biomasse ou d'huiles usagées

On l'aura donc bien compris, les carburants alternatifs au départ de ressources renouvelables sont largement diversifiés, et se distinguent non seulement par leur procédé de production (fermentation pour les bioalcools, voie chimique pour le biodiesel, procédé thermo-chimique et Fischer-Tropsch pour les carburants de synthèse, etc.) mais aussi par la nature des intrants utilisés (végétal et organique pour les biocarburants et certains carburants de synthèse, mais aussi de l'eau et du CO₂ pour les e-carburants). La Figure 6 résume la diversité de toutes ces options technologiques. On voit apparaître également toutes les options de kérosène alternatif (en bleu foncé sur le schéma). Si le cas des carburants liquide de roulage est déjà bien complexe, les choses se corsent encore plus quand on aborde le thème des carburants liquides pour le transport aérien....!!!

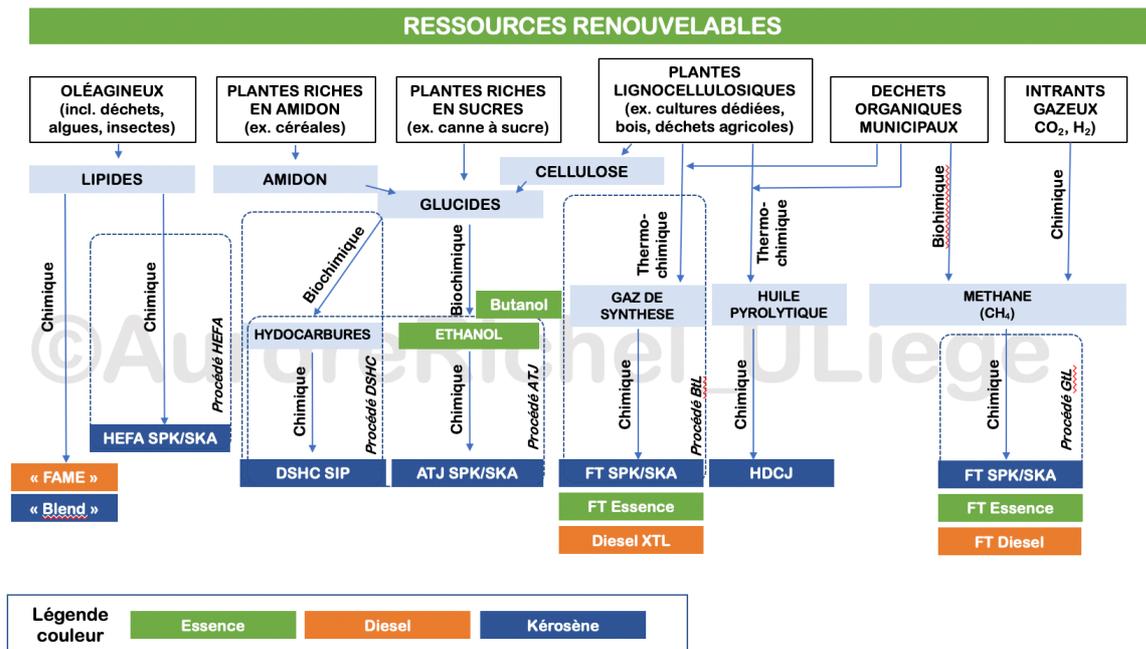


Figure 6. Schéma simplifié et non exhaustif des options de production de carburants liquides alternatifs pour le transport (routier & aérien majoritairement)

La Figure 6 met ainsi en évidence pas moins de 5 à 6 options de kérosène différentes qui portent toutes des terminologies et des abréviations différentes. Si tel est le cas, c'est parce que la nature des molécules qui composent ces kérosènes est nettement différente, même si les propriétés applicatives et physico-chimiques finales du kérosène sont analogues. Certains kérosènes sont ainsi produits au départ de plantes riches en sucres (comme la canne à sucre) tandis que certains autres types de kérosène se produisent au départ d'huiles (algues, plantes oléagineuses). Certains kérosènes sont produits par le procédé de Fischer-Tropsch et pourrait être obtenus au départ de CO₂ et de H₂ (partie la plus à droite du schéma) tandis que d'autres s'orientent vers l'utilisation de micro-organismes novateurs dans des approches de fermentation (voie biochimique sur le schéma). En fonction des flux de matières premières renouvelables dans certaines zones du globe, certaines entreprises manufacturent donc des kérosènes différents. Par exemple, la Brésil riche en canne à sucre ne produit pas le même type de kérosène que des acteurs industriels spécialisés dans des productions au départ d'algues. Cela explique aussi pourquoi certaines compagnies aériennes décollent avec des kérosènes alternatifs différents.

Si le terme de « kérosène » est donc dans ce cas un terme générique, l'adjectif « vert » qui lui est souvent accolé peut prêter à confusion. En effet, pour le non-expert, on ne sait pas s'il fait référence à la nature « végétale » du matériel utilisé, au fait que ce kérosène émet moins de gaz à effet de serre sur son usage ou sa manufacture, ou à une autre raison plus commerciale. Dans tous les cas, il

conviendrait plutôt d'exploiter un terme scientifique rigoureux tel que « kérosène alternatif » ou « kérosène avancé » pour lever la moindre confusion.

En conclusion, la thématique des carburants liquides pour le transport est large, tant d'un point de vue technologique que du point de vue du vocabulaire associé à ces approches technologiques. Utiliser le bon mot dans la bonne circonstance est donc aussi une manière de progresser dans ces débats.

Des pneus à base de pissenlits ?

Lors de la première semaine de juin 2019, le prix du caoutchouc naturel s'est envolé et a dépassé au kilo la barre symbolique des 200 yens sur le Tokyo Commodity Exchange (Tocom). Cette hausse des prix est à relier à différents facteurs, notamment une demande grimpeante pour du caoutchouc naturel que l'offre a du mal à contenir. Certains pays, gros exportateurs de caoutchouc naturel, comme la Thaïlande, ont en effet mis en application de nouvelles politiques gouvernementales qui limitent les exportations de cette matière sur le marché mondial. Même si les taux d'exportation de certains pays se sont améliorés (c'est le cas notamment de la Côte d'Ivoire), même si certains pays comme le Libéria mettent en place des initiatives pour soutenir la production de caoutchouc naturel, les volumes demandés sur le marché (notamment européen et américain) restent pharaoniques. Le caoutchouc naturel c'est une matière biologique, d'origine végétale, obtenue par la transformation du latex sécrété par certains végétaux et en particulier l'hévéa. Ce caoutchouc naturel est un métabolite secondaire produit par la plante, sous forme d'un polymère. D'un point de vue chimique, le caoutchouc naturel est un polyisoprène. C'est un matériau élastomère qui est utilisé pour une application phare: les pneumatiques. Qu'ils soient de voiture, de vélo, d'avion, ou même de trottinettes, les pneus de notre quotidien contiennent tous du caoutchouc naturel provenant de l'hévéa. Nos modes de consommation actuels, incluant l'augmentation de nos demandes en transport, impliquent donc d'avoir un approvisionnement certain en cette matière première. Au début du 20ème siècle, un chimiste dénommé Hofmann (travaillant pour Bayer AG) déposa un brevet pour la production de caoutchouc de synthèse qui est aussi un polymère composé de la polymérisation d'unités de type butadiène. Les plus gros producteurs de caoutchouc de synthèse sont la Chine et l'Union européenne. Cette alternative purement « de synthèse » est également incorporée dans les pneumatiques. Ses performances sont différentes de celles du caoutchouc naturel, raison pour laquelle ces deux types de caoutchouc sont souvent utilisés en combinaison.

Le caoutchouc naturel est donc une matière première importante pour le secteur industriel et des transports. Néanmoins, son prix est fluctuant. Qui plus est, certains pointent du doigt l'impact environnemental assez problématique de l'exploitation de l'hévéa.

Les chercheurs ont donc réfléchi à une alternative. En particulier, chez Continental. Ce groupe a mis en avant que le pissenlit (*Taraxagum*), produit plus localement, pouvait être une alternative à l'hévéa. Cette plante, assez commune, possède elle aussi la particularité de sécréter un latex. Au terme de plusieurs années de recherche, le groupe Continental a ainsi dévoilé fin mai 2019 son premier pneu de vélo à base de caoutchouc de pissenlit.

Et oui, vous ne le saviez peut être pas, mais vos pneus contiennent depuis toujours un matière végétale. Entre hévéa et pissenlit, la transition se met en place.

La Spiruline, super aliment de demain



Présentée comme "le meilleur aliment pour l'avenir" par l'OMS, la spiruline est "l'aliment idéal et le plus complet de demain" selon l'UNESCO. Dès lors, pourquoi la spiruline, à l'origine du monde animal et végétal, et consommée depuis des siècles par des peuples d'Afrique et d'Amérique centrale est-elle présentée aujourd'hui comme l'algue aux mille vertus? De complément alimentaire, la spiruline tend à devenir un ingrédient à part entière de notre alimentation.

Riche en protéines et en micronutriments essentiels, elle est adaptée à des régimes végétariens, sportifs ou personnalisés mais reste difficile à intégrer dans nos menus. Mais au fond, de quoi s'agit-il? Comment est-elle produite? Où la trouve-t-on? Quels sont ses bien faits? Quelle est sa valeur nutritionnelle? Comment peut-on la consommer? Comment reconnaître une spiruline de qualité? Plébiscitée par de nombreux nutritionnistes, médecins et influenceurs, les diverses propriétés annoncées méritent un examen sérieux pour vérifier leur réalité.

La spiruline, une algue spiralée, fait aujourd'hui partie de la liste des « super aliments » reconnus pour leurs qualités nutritionnelles. Ses vertus nutritionnelles sont en effet si grandes qu'elle est notamment utilisée pour combattre la malnutrition dans divers pays d'Afrique. Disponible sous forme de poudre, la spiruline est consommée par les sportifs, les végétariens, les personnes âgées et par toute personne désireuse d'une alimentation saine et durable. Si ses qualités nutritives sont démontrées, elles le sont encore plus lorsque l'algue est consommée fraîche et non séchée.

La solution aux problèmes de malnutrition infantile dans les pays en voie de développement passe notamment par l'utilisation de compléments alimentaires riches en vitamines et oligo-éléments. Ceux-ci sont généralement onéreux, car issus de la recherche dans l'industrie pharmaceutique. Il existe pourtant une solution naturelle et aisément implémentable : la culture de Spiruline.



La spiruline est une cyanobactérie– ou algue bleue-verte – microscopique (de l'ordre de 0.1 mm) qui doit son nom à la forme spiralée de ses minuscules filaments. Apparue il y a plus de 3 milliards d'années, elle croît naturellement dans les lacs alcalins des régions chaudes du globe, probablement propagée à la faveur des déplacements des flamands roses, accrochée aux écailles de leurs pattes et aux lamelles de leur bec filtrant. Déjà à l'honneur chez les Aztèques, la spiruline est traditionnellement consommée depuis des siècles par différentes populations du globe. A l'heure actuelle, elle est toujours récoltée, séchée sur le sable et commercialisée sur les marchés par les femmes vivant sur les rives du lac Tchad.

Elle peut aussi se cultiver dans des bassins artificiels de 5 m² à 200 m², d'une façon industrielle (Figure 2) comme artisanale, voire familiale. Elle requiert une température de milieu de culture proche des 30°C et une luminosité importante pour la photosynthèse. Elle se développe dans un milieu alcalin salé et riche en nutriments.

La composition de la spiruline en différents éléments nutritifs, ainsi que l'absence de membrane cellulosique – qui les rend facilement assimilables par l'organisme – ont retenu l'attention des chercheurs et nutritionnistes; à commencer par son exceptionnelle teneur en protéines à haute valeur qualitative, sa richesse en provitamine A et vitamine B12, en fer et autres minéraux, en combinaison équilibrée qui l'ont faite pressentir comme un excellent complément alimentaire, capable de pallier aux principales carences attestées notamment dans les cas de malnutrition. La spiruline peut se consommer fraîche ou séchée, sous forme de bâtonnets, de poudre (p.ex. en gélules) ou de comprimés.

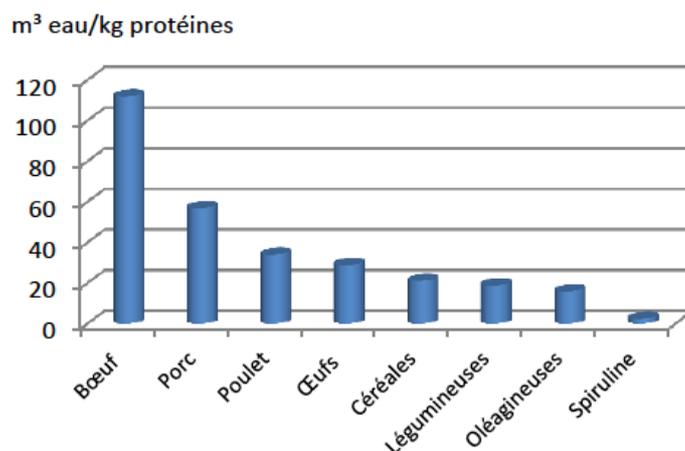
Gestion de la Ressource

La culture de spiruline nécessite l'accès à une ressource en eau, que ce soit pour l'«ensemencement» des bassins d'abord – on cultive généralement sur une hauteur de milieu d'environ 18 cm – mais aussi et surtout, pour compenser l'évaporation journalière, laquelle peut, selon le climat et la période de l'année, varier de 1 à 15 mm/jour (de 1 à 15 l/m²). Cette eau doit être « amendée » par des intrants, afin de lui conférer le pH adéquat et de fournir les nutriments nécessaires à la croissance de la spiruline. On parle alors de « Milieu de culture ».

La disponibilité d'eau de qualité représente donc un frein au développement des fermes de culture de spiruline. Heureusement, il existe des solutions. Certaines communautés ont développé la création et la gestion de lacs collinaires comme source d'approvisionnement, tant pour la consommation que pour l'irrigation et même la pêche.

Les lacs collinaires sont des barrages en terre, fermant une vallée pour créer des lacs artificiels de l'ordre de 1,5 ha, pour une capacité moyenne de 50 000 m³. D'autres communautés développent des moyens de pompage d'eau de nappe rendue disponible pour la communauté. Ces eaux sont alors filtrée (du filtre à sable aux osmoseurs) et de l'eau potable est rendue disponible, mais en quantité restreinte.

La culture de la spiruline s'avère alors tout à fait pertinente pour exploiter la ressource disponible. Il faut en effet seulement 2,5 m³ d'eau pour produire 1 kg de protéines à partir de la spiruline (Figure 5) contre 8,8 m³ pour un kilo de protéines à base de soja, 12,4 m³ pour celles du maïs et plus de 100 m³ (soit 40 fois plus) pour les protéines issues de la viande de bœuf.



Développement économique

Un projet de ferme école avec la Faculté d’Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) de l’Université d’État d’Haïti, financé par WBI entre 2010 et 2013, a déjà permis de construire trois bassins de culture de spiruline dans le quartier Damien de Port-Au-Prince, et de familiariser une équipe universitaire de cette faculté avec la culture de la Spiruline. Une production régulière est vendue ou distribuée afin de faire connaître la spiruline au plus grand nombre et de sensibiliser la population aux bienfaits de cet aliment.

Le projet actuel vise à diffuser la connaissance des techniques de culture de la Spiruline dans le monde entrepreneurial et associatif haïtien, dans l’espoir de voir des fermes artisanales se multiplier dans le pays. Une première formation s’est déroulée en décembre 2016 et a été suivie par une vingtaine d’haïtiens candidats au lancement de nouvelles fermes. Les participants proviennent d’horizons divers, et si le monde associatif y était bien représenté à travers les communautés religieuses “Petits Frères de l’Incarnation” et “Fondation des Coeurs Verts”, le Ministère de l’Agriculture a fourni plusieurs participants, dans le cadre de l’appui à la création de Micros Parcs Industriels en production de Biotechnologies. La formation comportait un volet théorique sur la culture de la spiruline (biologie, méthodologie de culture, composition des milieux de culture, ...), avec des exercices pratiques d’ensemencement, puis de récolte et de conditionnement dans la ferme pédagogique de Damien.

En outre, l’aspect entrepreneurial n’était pas négligé, tant sous la forme des démarches à entreprendre que de la réalisation de budgets prévisionnels d’exploitation d’une ferme de spiruline.

La culture de la spiruline dans les pays en développement situés entre les 35èmes parallèles s’avère bénéfique sur le plan de la santé, par ses propriétés nutritives exceptionnelles, mais également constitue un plus dans le cadre de la gestion des ressources en eau, pour les économies qu’elle procure, et représente un axe de développement économique non négligeable, tant localement qu’au niveau du marché mondial de la spiruline en train de se développer.