

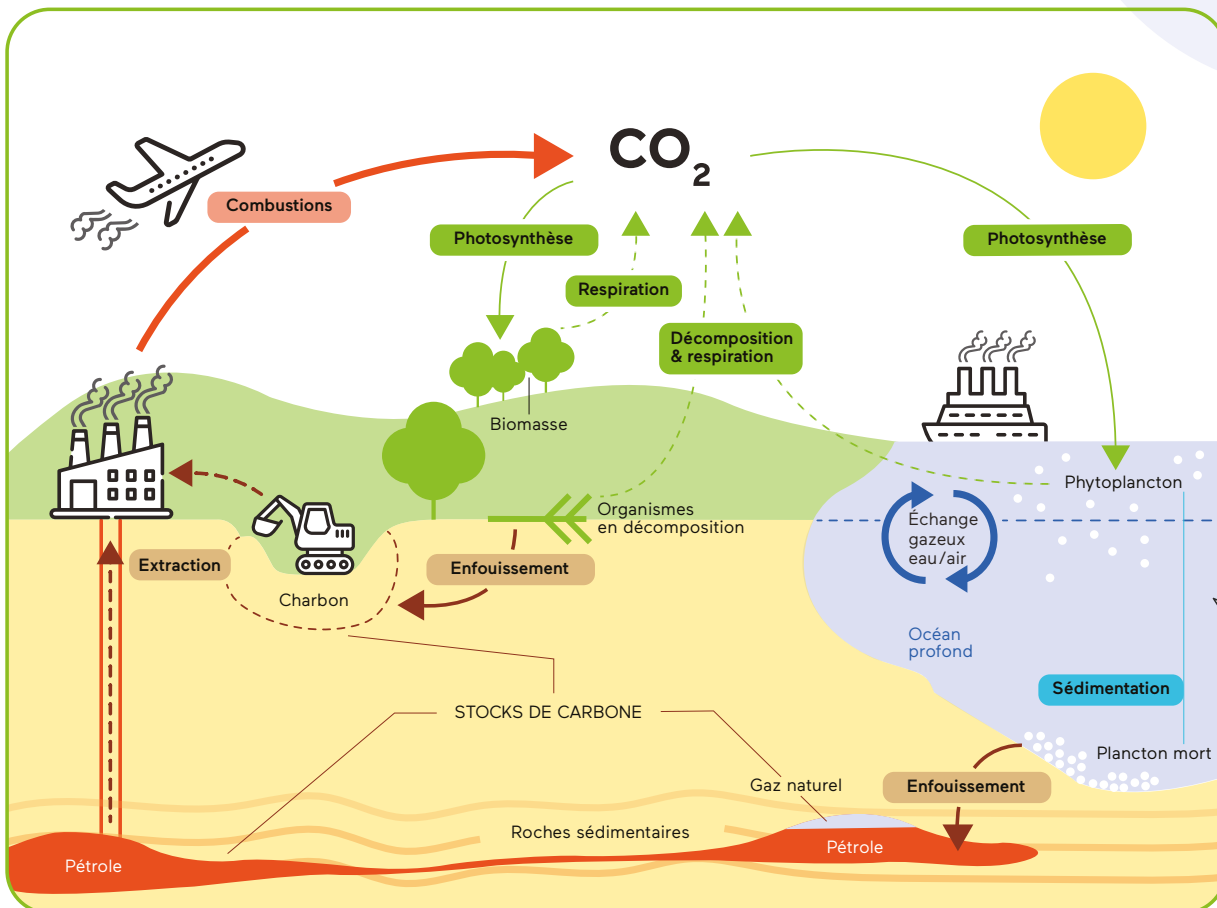
Le carbone est un élément chimique, **essentiel à la vie** sur Terre. Il est à la base de toutes les molécules organiques composant les êtres vivants : végétaux, animaux et humains.

LES CYCLES DU CARBONE ET LA COMPTABILITÉ DES GAZ À EFFET DE SERRE

Le carbone est présent dans les êtres vivants, mais également dans l'atmosphère et les océans (sous forme diffuse et dissoute, principalement de CO_2) et dans les sols (sous forme de roches ou de combustibles fossiles) : ils constituent des **réservoirs de carbone**.

Des **flux de carbone**, sous différentes formes, sont échangés entre ces différents réservoirs (ou stocks) de la planète. On appelle **cycle du carbone** l'ensemble de ces échanges en carbone. Une distinction est faite entre les **cycles courts** (entre la biomasse ou les océans et l'atmosphère, sur une à quelques dizaines d'années) et les **cycles longs** (entre l'atmosphère et le carbone fossile des sols, sur plusieurs milliers, voire millions, d'années).

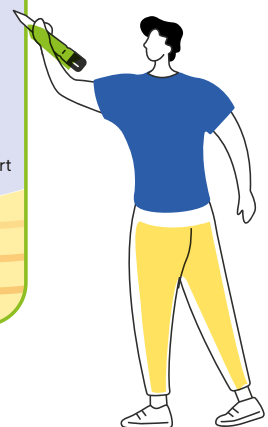
LES CYCLES DU CARBONE



— Activités humaines

--- Cycle court

--- Cycle long



1.

POURQUOI ET COMMENT COMPTER LES ÉMISSIONS DE GES ?

LA COMMUNAUTÉ INTERNATIONALE S'ENGAGE À LUTTER CONTRE LA CRISE CLIMATIQUE

Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine transfère, principalement sous forme de CO₂, via la combustion des énergies fossiles, du carbone aux stocks de l'atmosphère et des océans, où il **s'accumule**. Cette accumulation de CO₂ et d'autres GES est responsable du **changement climatique** et du **réchauffement global** de l'atmosphère sur la Terre par renforcement de l'effet de serre.

Pour stabiliser l'effet de serre, il faut donc revenir à un **équilibre** entre les émissions de GES dues à l'activité humaine et les absorptions de CO₂ par les puits de carbone naturels (les écosystèmes naturels) et technologiques. C'est l'enjeu des différents accords internationaux visant à **réduire les émissions de GES** : la CCNUCC¹ en 1992, le protocole de Kyoto² en 1997 et plus récemment de l'Accord de Paris³, en 2015, dont l'objectif est de maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale bien en-dessous de 2°C par rapport au niveau pré-industriel.

Tous les membres de l'UE ainsi que l'UE ont signé et ratifié l'Accord de Paris, qui se traduit par un engagement à **réduire d'ici 2030 de 55 %** les émissions de gaz à effet de serre de l'UE par rapport à 1990 puis à atteindre la neutralité climatique à l'horizon 2050.



LES GAZ À EFFET DE SERRE

Les Gaz à Effet de Serre (GES) sont des gaz qui **retiennent dans l'atmosphère** la chaleur reçue du soleil. Le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O) mais aussi les gaz fluorés sont les principaux GES émis par les **activités humaines**. Ces dernières sont le moteur principal du réchauffement climatique. Ces gaz ayant chacun leur propre pouvoir de réchauffement global (PRG), ils sont tous traduits en tonnes de CO₂ équivalent.

LA GENÈSE DE LA COMPTABILITÉ DU CARBONE

Puisque « ce qui ne se mesure pas ne s'améliore pas », la comptabilité carbone a naturellement émergé selon deux approches distinctes⁴ :

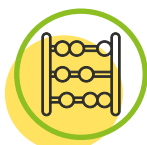
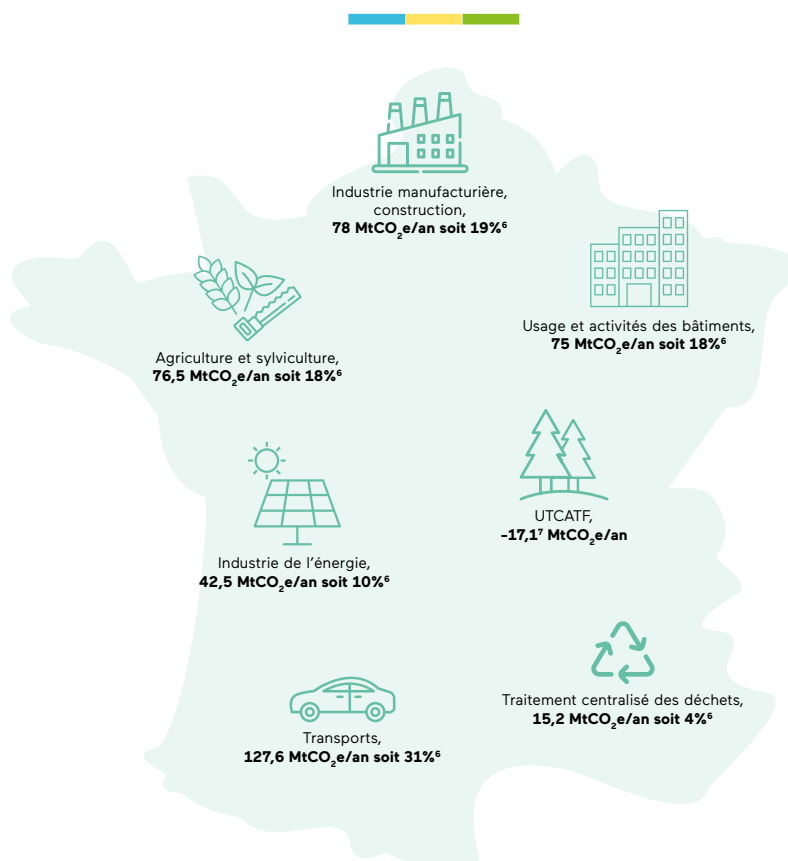


L'approche dite « **inventaire** », pour contrôler la réduction des émissions de GES et les engagements des États dans les différents traités.



L'approche dite « **empreinte carbone** », couramment appelé bilan carbone, pour évaluer les émissions de GES liées à la production et la consommation de produits ou de services. Cette approche est naturellement plus appropriée aux activités des entreprises et des individus.

LES SECTEURS D'ACTIVITÉS COMPRIS DANS L'INVENTAIRE SECTEN ET LES ÉMISSIONS DE CO₂E (en MtCO₂e/an) QU'ILS REPRÉSENTENT⁸.



L'APPROCHE « INVENTAIRE » À L'ÉCHELLE DE L'ÉTAT

L'approche « inventaire » se focalise sur les **émissions territoriales**, et suit les recommandations et méthodes définies dans les enceintes internationales (CCNUCC, Kyoto, GIEC), en évitant le **double-compte** et les **omissions** d'émissions de GES. Concrètement, chaque pays réalise et publie chaque année un **inventaire des émissions et des absorptions** (par les puits de carbone) de GES sur son territoire. En France, le Citepa réalise cet inventaire. Tous les secteurs d'activité⁵ sont pris en compte : industrie de l'énergie, manufacturière et de construction, bâtiments et activités résidentielles et tertiaires, agriculture, transports, traitement des déchets, et **UTCATF** (Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêts).

1 - Pour en savoir plus, unfccc.int

2 - Pour en savoir plus, vie-publique.fr

3 - Pour en savoir plus, l'Accord de Paris

4 - Pour en savoir plus, Citepa_2020

5 - Pour en savoir plus, [Citepa_2023, pp17-18](http://Citepa_2023_pp17-18)

6 - Hors secteur UTCATF.

7 - La valeur est négative car ce secteur absorbe plus de gaz à effet de serre qu'il n'en émet.

8 - Pour en savoir plus, [Citepa_2023, pp95-96](http://Citepa_2023_pp95-96)



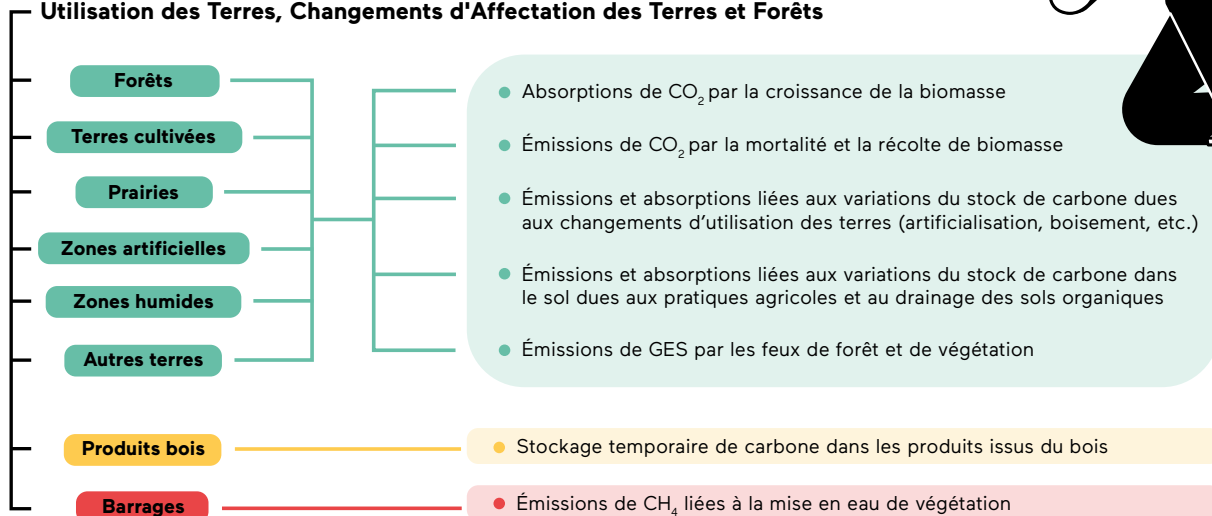
ZOOM SUR L'UTCATF

Ce secteur prend en compte « les **flux de carbone** dus aux changements d'affectation des terres, aux changements de pratiques dans leurs usages ou aux dynamiques de long terme. Les forêts, cultures et prairies sont les principaux sous-secteurs concernés⁹ ». Y sont intégrées en particulier les émissions de CO₂ liées à la **récolte de la biomasse**, et notamment de la biomasse énergie, ainsi que les **absorptions** par l'ensemble de la biomasse. Puisque les émissions de CO₂ au moment de la combustion de biomasse pour un usage énergétique sont **déjà comptabilisées** dans le secteur UTCATF, elles ne sont pas comptées dans le secteur de l'énergie ou du transport, pour **éviter un double compte**. Néanmoins, ces émissions sont bien comptabilisées dans l'inventaire national à travers l'inventaire UTCATF.



INCLUS DANS CE SECTEUR :

Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Forêts

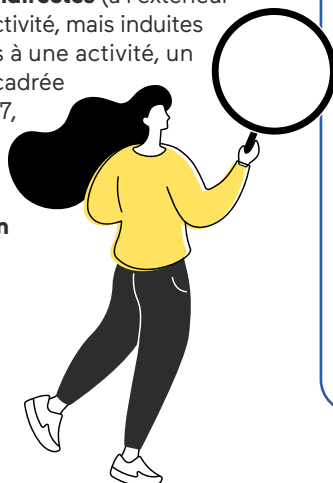


Source : Rapport Secten, éd. 2023, Citepa.



L'APPROCHE « EMPREINTE CARBONE » À L'ÉCHELLE D'UNE ACTIVITÉ

L'approche « empreinte carbone » mesure l'ensemble des émissions de GES liées à la production, la distribution, l'utilisation et le recyclage d'un bien ou d'un service, peu importe l'endroit où ont lieu ces émissions. Ce sont donc les **émissions directes** (produites sur le territoire ou le lieu de l'activité) et **indirectes** (à l'extérieur du territoire/du lieu de l'activité, mais induites par celle-ci) de GES liées à une activité, un produit ou un service. Encadrée par la norme ISO 14067, elle permet à travers un équivalent en émissions de CO₂ **d'évaluer l'impact d'une activité ou d'un produit sur le climat**.



L'EMPREINTE CARBONE D'UNE VOITURE ESSENCE

Par exemple, la base de données de l'ADEME (base Empreinte) indique qu'une voiture essence type compact est la source d'émissions de :

- **Fabrication du véhicule** : 40 gCO₂e/km, du fait des émissions liées aux matières premières, à la fabrication de composants utilisés dans la fabrication du véhicule (émissions indirectes, amont à l'entreprise) et à la production du véhicule (émissions directes de l'entreprise qui produit le véhicule et indirectes liées à la consommation d'électricité par exemple).
- **Production du carburant** : 40.8 gCO₂e/km, du fait des émissions liées à l'extraction, au raffinage et à la distribution du carburant (émissions indirectes, avals à l'entreprise produisant la voiture).
- **Combustion du carburant** : 151 gCO₂e/km, à l'usage du véhicule (émissions indirectes).

2. COMMENT RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GES ?

LE CADRE RÉGLEMENTAIRE : UN OUTIL INDISPENSABLE À LA BAISSÉ DES ÉMISSIONS DE GES

Afin de contraindre les États membres de l'UE à réduire leurs émissions de GES, cette dernière a conçu **différentes réglementations** au fur et à mesure de la ratification des traités internationaux. Ces règlements, qui sont donc des **outils au service de l'objectif de la réduction des émissions de GES**, ont fait l'objet d'évolutions récentes pour rehausser les ambitions climatiques de l'Union européenne. En particulier :

- Le **Système d'Échange de Quotas d'Émissions (SEQE)** : le marché du carbone de l'UE, mis en place en 2003 ;
- La **directive sur les énergies renouvelables** publiée en 2009, elle a évolué en 2018 (REDII) puis tout dernièrement en 2023 (REDIII) ;
- Le **règlement UTCATF**, relatif à l'Utilisation des Terres et à la Foresterie ;
- Un règlement spécifique à la décarbonation de l'aviation : **ReFuelEU Aviation**, qui traite notamment des carburants d'aviation durable et définit les objectifs ;
- Un règlement spécifique à la décarbonation du transport maritime : **FuelEU Maritime**, qui s'attaque à l'intensité carbone de l'énergie consommée par les navires et définit lui aussi les objectifs.

Tous ces règlements doivent être cohérents entre eux et servir l'objectif ultime de l'Accord de Paris. **Ils ont un impact direct sur le développement du projet E-CHO.**

3 TEXTES À FORT IMPACT SUR LE PROJET E-CHO

- REDII (réf. 2018/2001), désormais REDIII (2023/2413), et actes délégués associés (2023/1184 et 2023/1185) ;
- ReFuelEU Aviation (2023/2405) et FuelEU Maritime (2023/1805) ;
- Le SEQE, qui donne un prix au CO₂ émis.



LA RÉGLEMENTATION REDII

Ce texte européen vise à **encourager l'utilisation des énergies renouvelables** dans la consommation d'énergie des états membres, pour la production d'électricité, l'industrie et dans le secteur des transports. Il définit notamment les **critères de durabilité des énergies**, et en particulier de la **biomasse** et des carburants utilisés pour le transport. Trois types de critères doivent être respectés : la **durabilité**, la **réduction des émissions** de gaz à effet de serre et l'**efficacité énergétique** des installations de production d'électricité. Les émissions de gaz à effet de serre sont évaluées par une approche en **cycle de vie**¹⁰.



LE CALCUL DE L'EMPREINTE CARBONE DES CARBURANTS RENEUVELABLES POUR LE TRANSPORT

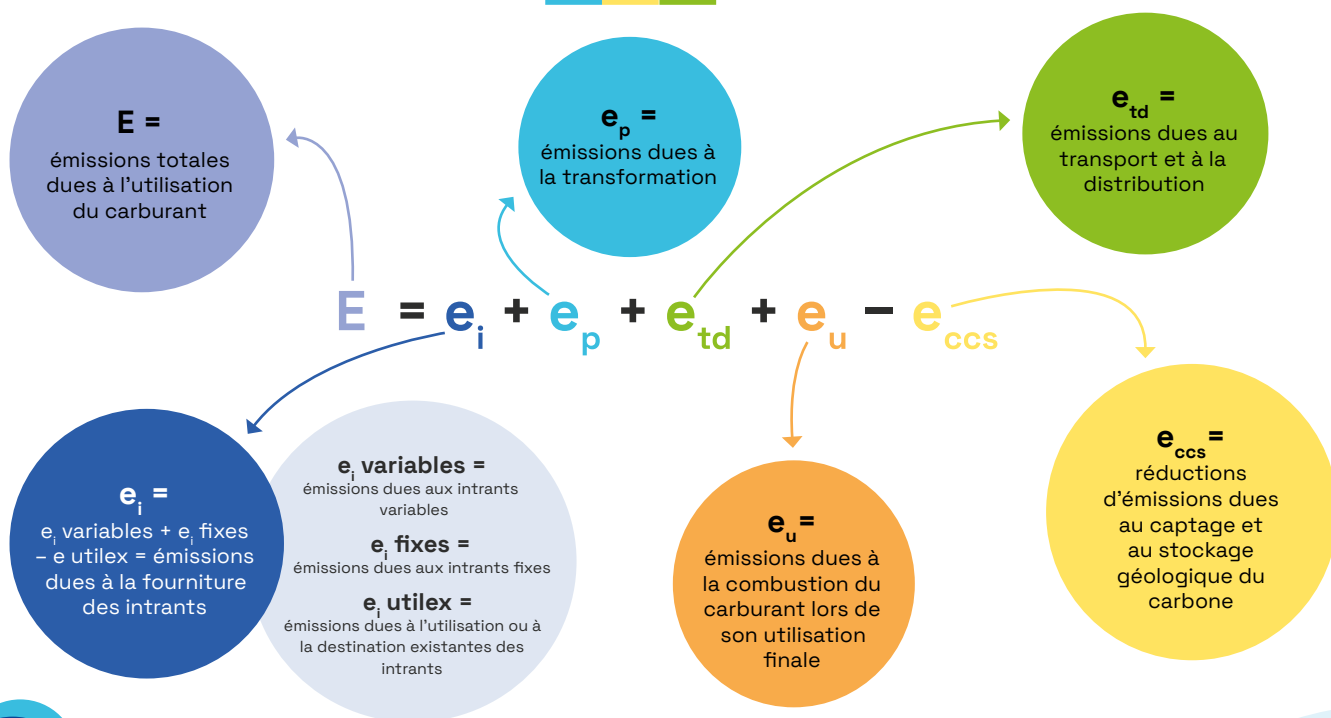
La directive REDII donne une définition et encadre les « carburants renouvelables » pour le transport, dont les produits du projet E-CHO font partie. Les deux critères majeurs de cette définition sont :

- Une réduction des émissions de GES, sur l'ensemble du cycle de vie du carburant, d'au **moins 70 %** par rapport au carburant de référence (lequel est un carburant fossile type gasoil ou essence).
- Le recours, le cas échéant, à une **biomasse durable**, dont la définition est là aussi encadrée par le texte.

Les actes délégués évoqués plus tôt, et en particulier le texte 2023/1185, fournissent tous les détails nécessaires à ce calcul de réduction des émissions de GES des carburants renouvelables. En pratique, **toutes les émissions de l'ensemble du cycle de vie** de production et d'utilisation sont prises en compte, de l'extraction des matières premières à la combustion des carburants, et y compris le transport des matières. C'est ce qu'on pourrait appeler l'**empreinte carbone de la production et de l'utilisation de carburant renouvelable**, rapportée à une unité d'énergie produite et utilisée, pour pouvoir comparer ces nouveaux carburants à la référence fossile.

¹⁰ - Une approche dite en « en cycle de vie » tient compte de l'ensemble des étapes de fabrication, transport, utilisation et élimination (ou fin de vie) d'un produit.

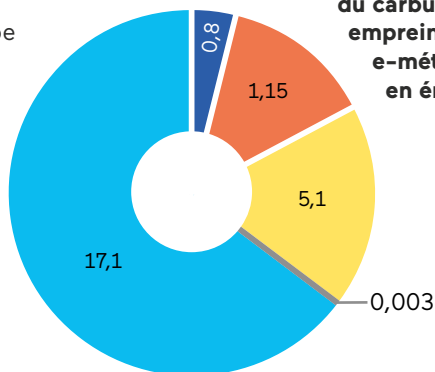
LE CALCUL DES ÉMISSIONS TOTALES DUES À L'UTILISATION D'UN CARBURANT (en gCO₂e/MJ)



EXEMPLE : EMPREINTE CARBONE DU E-MÉTHANOL SELON REDII

Produire du e-méthanol nécessite :

- De produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau alimentée par de l'électricité bas-carbone,
- De capter du CO₂ sur un point d'émission, de le séparer (étape consommant de l'électricité et de la vapeur) et de le transporter jusqu'au point d'utilisation,
- De synthétiser le méthanol à partir du CO₂ et de l'hydrogène (étape consommant de l'électricité et de la vapeur),
- De transporter le e-méthanol jusqu'au consommateur final,
- D'utiliser le e-méthanol comme carburant, comme produit intermédiaire.



Dans notre exemple exposé ici, la production et l'utilisation d'e-méthanol représente une empreinte carbone de 24,1 gCO₂e/MJ, soit 484 gCO₂e/kg. La production et l'utilisation du carburant fossile équivalent représente une empreinte carbone de 1870 gCO₂e/kg. Cet e-méthanol représente donc un abattement en émissions de GES de plus de 74 %.

EMPREINTE CARBONE DU E-MÉTHANOL EN gCO₂e/MJ

- H₂
- Captage CO₂
- Méthanolation
- Transport
- Usage

Dans le cadre de la directive REDII et en cohérence avec les autres règlements européens (SEQE en particulier), il est considéré que **l'usage de biomasse durable n'a pas d'impact sur le climat à 100 ans**. Dit autrement, le bilan carbone net de la biomasse est nul sur l'ensemble de son cycle de vie, sur un horizon de 100 ans : la biomasse libère autant de carbone, sous forme de CO₂, à la fin de sa vie que de carbone qu'elle a capté pendant sa croissance. Puisqu'elle est durable, la biomasse **repousse en lieu et place de la biomasse récoltée**. Cette biomasse capte à son tour du CO₂ au cours de sa croissance et le cycle captage de CO₂/libération se répète à mesure que la biomasse croît et est récoltée.

Pour autant, la récolte de biomasse associée à ces usages et son impact sur le bilan UTCATF sont bien **comptabilisés** par les pays où ont lieu la récolte, dans le cadre de leur inventaire national et de leurs engagements dans l'Accord de Paris. **Cette exigence de comptabilisation est inscrite dans la directive REDII à l'article 29.**



QU'EST-CE QUE LA BIOMASSE DURABLE ?

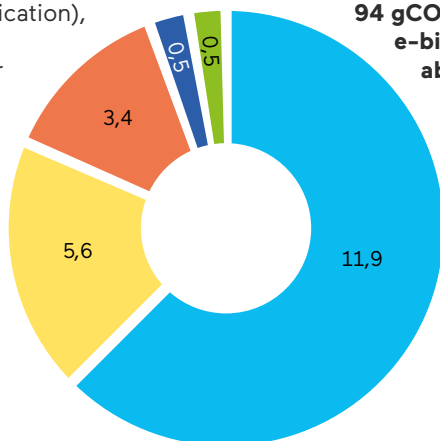
La biomasse est dite **durable** lorsqu'elle respecte **7 critères**, spécifiés dans la directive REDII, en particulier : la régénération de la forêt après récolte et la préservation de sa capacité à produire sur le long terme, ainsi que la préservation de la biodiversité et de la qualité des sols. Sous ces conditions de durabilité, il est **autorisé** de considérer que **l'utilisation de la biomasse n'a pas d'impact climatique à 100 ans**, ce qui équivaut en terme comptable d'empreinte carbone que l'utilisation de biomasse n'émet pas de CO₂.



EXEMPLE : EMPREINTE CARBONE DU E-BIOKÉROSÈNE SELON REDII

Produire du e-biokérosène nécessite :

- De produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau alimentée par de l'électricité bas-carbone,
- De transporter la biomasse jusqu'au site de BioTJet, puis de la broyer, de la sécher et de la transformer en gaz (gazéification),
- De mélanger ce gaz avec l'hydrogène et de synthétiser le carburant à partir du mélange,
- De transporter le e-biokérosène produit jusqu'au consommateur final,
- D'utiliser le e-biokérosène comme carburant, et le e-bionaptha comme produit intermédiaire.



Dans notre exemple exposé ici, la production et l'utilisation de e-biokérosène représente une empreinte carbone de 22 gCO₂e/MJ, soit de 963 gCO₂e/kg. La production et l'utilisation du carburant fossile représente quant à elle 94 gCO₂e/MJ, soit 4 136 gCO₂e/kg. Cet e-biokérosène représente donc un abattement en émissions de GES de 77 %, respectant l'exigence réglementaire de 70 % minimum.

EMPREINTE CARBONE DU E-BIOKÉROSÈNE EN gCO₂e/MJ

- H₂
- Biomasse
- Transformation
- Transport
- Usage

L'UTILISATION DU BILAN CARBONE POUR LE PROJET E-CHO



Dans le cadre du projet E-CHO, le calcul du bilan carbone, ou de son empreinte carbone, est essentiel pour :

Mesurer les émissions de gaz à effet de serre de la production et de l'utilisation des produits, pour s'assurer de réduire leur impact climatique par rapport à leurs équivalents fossiles.

Obtenir la certification « renouvelable » ou « bas-carbone », selon la nature de l'électricité, dont les critères sont définis par la réglementation européenne (REDII entre autres).

Identifier les postes les plus importants dans la chaîne de production et les réduire dans une logique d'amélioration.

Respecter les obligations réglementaires et normatives, en permettant la vérification par des tiers, afin d'obtenir les certifications nécessaires à la commercialisation des produits.

Le bilan carbone est nécessaire à la certification des produits E-CHO, et constitue également un outil d'aide à la décision dans la conception du projet et des procédés de fabrication.

