

LES Puits DE GES

DÉFINITIONS, MÉTHODES DE CALCUL ET UTILISATION

SYNTHÈSE

Novembre 2023



L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- ✓ En Bibliographie, ce document sera cité sous la référence :

SCORE LCA, LES PUITES DE GES : DÉFINITIONS, MÉTHODES DE CALCUL ET UTILISATION, 2023, 89, n° 2022-03.

(à mentionner uniquement dans le rapport final)

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)

www.ademe.fr

- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.

- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

WeLOOP a réalisé un travail en collaboration avec CyVi et ScoreLCA sur les techniques de captage de carbone et son utilisation ou stockage (*Carbon Capture, Use and Storage, CCU/S*) et les défis méthodologiques de la prise en compte de ces techniques en Analyse de Cycle de Vie (ACV), à la fois pour les praticiens ACV, les entreprises, et les instances politiques.

Les objectifs du projet sont les suivants :

- Établir un état des lieux des différents types de puits de GES utilisés et utilisables par les entreprises pour "neutraliser leurs émissions" sur leur périmètre ;
- Proposer des méthodologies pour calculer les émissions captées par ces différents types de puits de GES ;
- Émettre des recommandations.

Une recherche bibliographique et des entretiens réalisés avec 10 expert-es sur les CCU/S, de différents pays et différents secteurs (industrie, recherche, institutions publiques, ...), ont permis d'avoir une vision globale sur les CCU/S en pratique aujourd'hui.

I. ÉTAT DE L'ART

Les CCU/S sont l'ensemble des techniques permettant d'éviter l'émission de CO₂ ou de le retirer de l'atmosphère, puis d'utiliser ou de stocker le carbone sous différentes formes (e.g. puits de GES). Ces techniques sont nécessaires afin d'atteindre la neutralité carbone, pour compenser le surplus d'émissions résiduelles lorsque les émissions de GES auront été réduites au maximum.

Le captage est divisé en deux catégories : le captage naturel, ayant lieu dans un environnement naturel anthropisé (comme une forêt gérée durablement), sans apport d'énergie direct, et le captage technologique, qui s'appuie sur des procédés permettant de retirer le CO₂ issu de la combustion de carburants fossiles ou biogéniques, d'une réaction chimique, ou directement depuis l'atmosphère. L'étape de captage technologique représente à elle seule 80% de l'énergie consommée dans les systèmes de CCS (les autres étapes sont le conditionnement, le transport, et l'injection). Les techniques les plus adaptées à chaque application seront déterminées en fonction des conditions de captage, comme la composition du gaz à traiter, la pression partielle de CO₂, mais aussi l'énergie requise par le procédé. Le captage technologique est divisé en cinq familles, illustrées dans la Figure 1 :

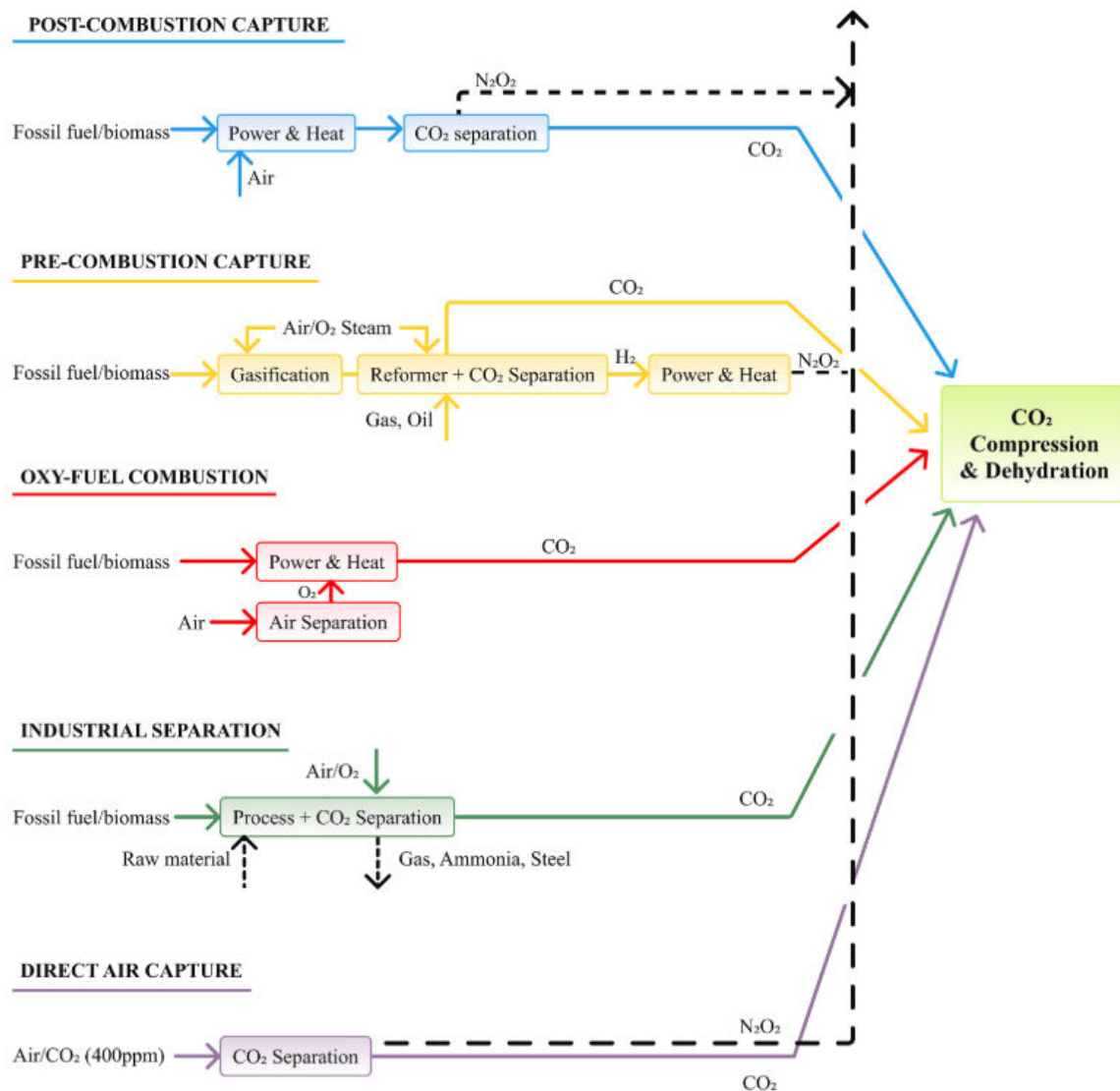


Figure 1 : Principaux procédés de captage du carbone (Dziejarski et al., 2023)

Seul le captage naturel est utilisé à grande échelle aujourd'hui via le boisement et le reboisement. Cependant, la tendance actuelle à l'échelle mondiale est à la déforestation. Il faudra donc inverser cette tendance avant de parler d'effet de puits de carbone à l'échelle globale.

Ensuite, après le conditionnement du carbone (sous forme liquide pour le CO₂ par exemple) et son transport, des options différentes sont possibles, selon la catégorie de captage. Par exemple, le captage naturel, sous forme de bois, permet de réaliser une charpente en bois, ou d'être stocké dans le sol sous forme de biochar. Le CO₂ issu du captage technologique permet quant à lui de réaliser des précurseurs chimiques, ou d'être stocké géologiquement.

La Figure 2 présente les différents flux et stocks de carbone qui sont directement influencés par des procédés anthropiques. Les flux affichés sur la figure sont soit les flux de carbone captés naturellement ou technologiquement (flèches partant du haut et pointant vers le bas), soit les émissions liées à la dégradation ou à la fin de vie des puits anthropiques de carbone, le cas échéant (flèches partant du bas et pointant vers le haut).

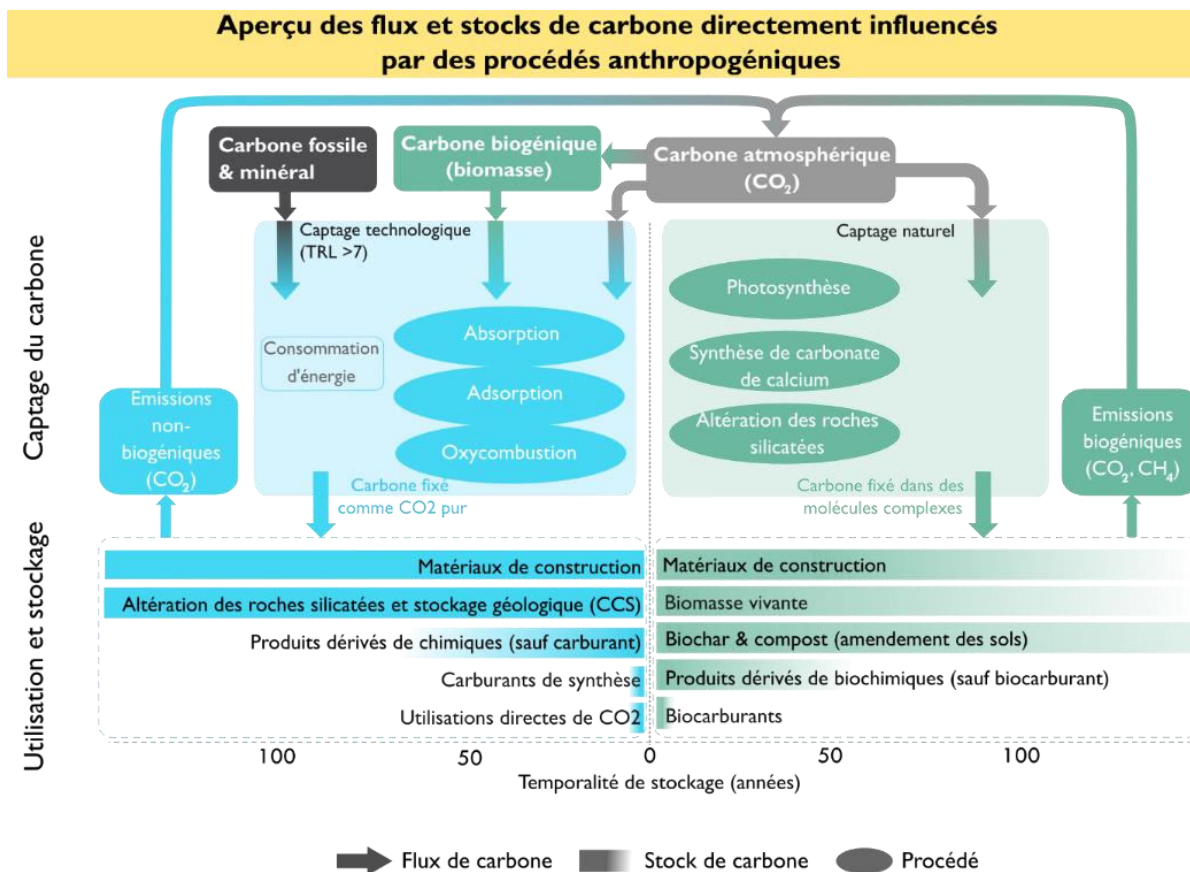


Figure 2 : Flux et stocks de carbone directement influencés par des procédés anthropiques

Les temporalités de stockage indiquées sont approximatives et couvrent l'ensemble des potentielles applications ou formes dans lequel le carbone est stocké (par exemple, la catégorie "biomasse vivante" inclut des plantes annuelles et arbres pouvant vivre plus de 100 ans). Les dégradés indiquent la variabilité potentielle de la durée de stockage. (image par WeLOOP, 2023)

Enfin, dans le cas des systèmes CCU, la fin de vie des produits (e.g mise en décharge, ou incinération) déterminera comment le carbone demeurera stocké, ou s'il sera relâché vers l'atmosphère.

Bien que de plus en plus de systèmes de CCU/S soient opérationnels aujourd'hui, de nombreux obstacles s'opposent encore à leur déploiement à grande échelle. Les barrières principales à leur développement sont le manque de cas concrets d'implémentation robustes, la lenteur et la complexité de la mise en place des projets, et un manque d'acceptabilité sociale, auxquels s'ajoutent des difficultés financières non négligeables. La Figure 3 présente les freins principaux identifiés par la Direction Générale pour l'Action Climatique de l'Union Européenne.

Le manque de cas d'application robuste et la faible maturité technologique des solutions de manière générale complique les évaluations d'impact de cycle de vie par manque de données, mais aussi par l'incertitude de ces derniers vis-à-vis de solutions plus matures.

Le besoin d'harmonisation et de structuration des solutions de CCU/S a été identifié par la Commission Européenne. En effet, les applications sont encore limitées, et le terme CCU/S désigne un grand nombre de solutions, faisant intervenir différentes techniques à chaque étape (captage/transport/stockage). WeLOOP propose donc une nomenclature permettant de classer les différentes solutions disponibles.



Figure 3 : Freins au développement des solutions de CCU/S (European Commission, 2018)

La nomenclature présente les solutions en les déclinant par étapes, sous forme d'arborescence, du captage jusqu'à la destination du carbone. La première lettre distingue le captage naturel (N) du captage technologique (T). La deuxième lettre (C) distingue le captage en fonction de l'identifiant qui lui est attribué. La lettre T correspond au transport, de T1 à T5. Deux chiffres ou plus indiquent la multimodalité du transport. Les solutions de captage et de transport recensées sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Synthèse des solutions de captage et de transport disponibles, avec l'identifiant correspondant dans la nomenclature ainsi que la matrice de compatibilité

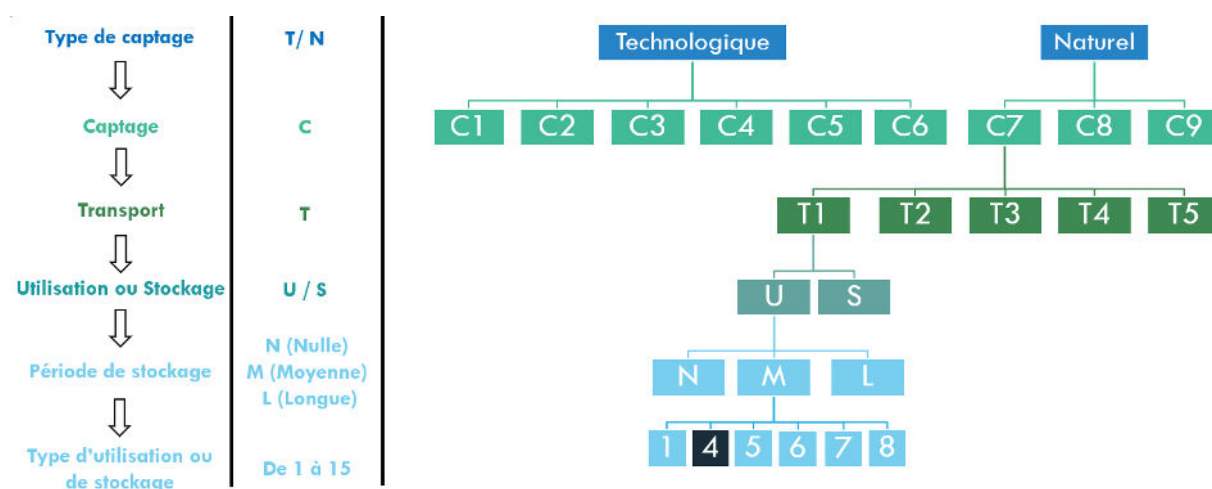
Étape	Nom	ID	Compatibilité	
			Type de captage	
			N	T
Captage	Absorption	C1		
	Adsorption	C2		
	Membrane	C3		
	Bouclage du carbonate de calcium	C4		
	Combustion en boucle chimique	C5		
	Autres techniques	C6		
	Photosynthèse	C7		
	Synthèse de carbonate de calcium	C8		
	Altération forcée	C9		
Transport	Camion	T1		
	Train	T2		
	Barge	T3		
	Bateau	T4		
	Pipeline	T5		

Ensuite, les lettres U et S distinguent si le carbone est utilisé ou s'il est stocké. Enfin, les lettres N, M et L représentent la durée de stockage du carbone. Le numéro qui suit désigne le type de stockage. Les solutions d'utilisation et de stockage recensées sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Synthèse des solutions d'utilisation et de stockage disponibles, avec l'identifiant correspondant dans la nomenclature ainsi que la matrice de compatibilité

Étape	Nom	ID	Compatibilité						
			Type de captage		Utilisation ou stockage		Durée de stockage		
			N	T	U	S	N	M	L
Utilisation ou stockage	Synthèse de produits chimiques	1							
	Synthèse de combustibles ou carburants	2							
	Utilisation directe de CO ₂	3							
	Matériaux de construction	4							
	Autres matériaux biosourcés	5							
	Biochar	6							
	Boisement et reboisement	7							
	Agroforesterie	8							
	Tourbières réhabilitées / réhumidifiées	9							
	Gestion des forêts	10							
	Augmentation du carbone organique du sol	11							
	Stockage géologique	12							
	Carbonatation accélérée	13							
	Altération forcée	14							

La Figure 4 présente un exemple de la classification correspondant à une charpente en bois utilisée dans une maison. La matrice de compatibilité issue du Tableau 2 est utilisée pour déterminer les options d'utilisation (U) disponibles pour un captage naturel (N) via la photosynthèse (C7), avec un transport en camion (T1) : M1, M4, M5, M6, M7 et M8.



$N - C7 - T1 - U - M4 =$ Captage naturel – Photosynthèse – Camion – Utilisation – Durée moyenne / Produit de construction

Figure 4 : Présentation de la nomenclature pour une charpente en bois

II. MÉTHODOLOGIE POUR L'ACV DES CCU/S ET RECOMMANDATIONS

Les difficultés majeures pour l'ACV des CCU/S sont la valorisation de la temporalité de stockage et la répartition des impacts entre les acteurs captant le CO₂ et ceux l'utilisant. Comment récompenser une laine de bois qui stocke du bois pendant 50 ans alors que le bois énergie relargue directement le CO₂ ? Qui doit bénéficier des crédits associés à l'utilisation du CO₂ ? D'autres questions subsistent également, notamment sur la façon de traiter le « statut » du carbone (biogénique, fossile), et comment classer les flux. Elles seront abordées dans la section suivante, avec d'autres problématiques qui se posent à chaque étape d'une ACV.

II.1 Objectif et périmètre de l'étude

Objectif de l'étude

La définition précise de la question de recherche à laquelle l'ACV souhaite répondre est importante, puisque l'objectif de l'étude déterminera les choix méthodologiques spécifiques à celle-ci, comme la définition des limites du système étudié et l'allocation d'impact aux différents co-produits.

Les questions de recherche les plus communes dans la littérature sur les différentes solutions de CCU/S concernent l'amélioration du profil environnemental d'un produit ou service grâce aux CCU/S, l'identification des points chauds d'un système CCU/S, ou les compromis environnementaux liés à l'implémentation du CCU/S.

Plusieurs types d'ACV peuvent être considérés en fonction des objectifs de l'étude : l'ACV conséquentielle, pour étudier les conséquences en termes d'impacts d'une solution sur le marché, l'ACV dynamique pour comparer deux solutions de CCU/S avec une vision temporelle, ou l'ACV prospective pour des solutions innovantes ou celles avec un NMT (Niveau de Maturité Technologique) faible.

Périmètre de l'étude

Les processus en commun entre les différents systèmes analysés (isopérimètre) peuvent être exclus de l'étude, mis à part les points chauds.

Dans le cas des systèmes de CCS, le système n'est pas multifonctionnel puisque seul le produit original est considéré dans l'unité fonctionnelle, et le CO₂ capté peut être considéré comme un déchet dont on dispose, de façon similaire aux déchets envoyés en décharge. L'unité fonctionnelle doit donc quantifier la performance du produit ou service (avec ou sans CCS), en spécifiant idéalement la localisation et la période de production de celui-ci (e.g., « 1 kg d'acier produit en [année] en [pays/continent] »).

Dans le cas des systèmes de CCU, le carbone capté est utilisé comme intrant dans un autre procédé industriel, et donc contribue à une fonction (et l'unité fonctionnelle associée dans le cas d'une ACV). La multifonctionnalité du système devra donc être prise en compte. Lors de la définition du système étudié, l'unité fonctionnelle devrait permettre une comparaison fiable des études portant sur différents systèmes de CCU.

Un point important pour la modélisation des solutions de CCU concerne le CO₂ en tant que produit fini : Dans la terminologie de l'ACV, le « CO₂ » désigne un flux élémentaire. Dans le cadre de l'analyse de solutions de CCU, ce même CO₂ est classifié en tant que produit fini, et doit par conséquent être reflété dans l'unité fonctionnelle où l'unité déclarée pourrait être « 1 kg de CO₂ capté ».

II.2 Traitement des procédés multifonctionnels

Le procédé produisant le CO₂ n'est pas multifonctionnel pour un système de CCS, comme précisé dans le chapitre précédent. Le CO₂ capté pour être utilisé (CCU) est toujours issu d'un procédé multifonctionnel, car il est co-produit avec un produit principal (le ciment par exemple). Par conséquent,

dans certains cas, la répartition des impacts liés au captage de carbone entre ces derniers est nécessaire.

La norme ISO14040/44 fournit une hiérarchie obligatoire à suivre pour la répartition des impacts entre procédés multifonctionnels, indiquée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Hiérarchie ISO pour les procédés multifonctionnels

Ordre de priorité	Nom	Description
	Si l'allocation est évitable	
1.	Subdivision	Division des procédés multifonctionnels en sous-procédés et répartition des entrants et sortants entre les différents sous-procédés.
2.	Extension des frontières	Inclusion des fonctions additionnelles dans les frontières du système suivie d'une substitution pour éviter l'allocation (ISO 14044 : 2006, Amendement 2, Annexe D :2020)
Si l'allocation est inévitable		
3.	Allocation physique	Les entrants et sortants sont répartis entre les sous-procédés en se basant sur des relations physiques (masse ou volume).
4.	Allocation selon d'autres critères	Si cela n'est pas possible, d'autres relations sont utilisées pour répartir les impacts entre les différents produits (e.g. valeur économique)

Quand la subdivision n'est pas applicable, l'extension des frontières doit être appliquée. Cela implique de séparer le produit ainsi que le CO₂ co-produit dans des fonctions différentes. Cette extension des frontières, consiste à identifier le(s) produit(s) qui sont remplacés par le(s) coproduit(s) du produit étudié et à quantifier les impacts associés à ces produits (ISO14044, Annexe D : 2020). Les principales limites de cette méthode sont l'approche conséquentielle utilisée dans une modélisation attributionnelle, la complexité de l'identification du système substitué et le risque du double comptage entre le producteur de CO₂ et l'utilisateur. Lorsque l'allocation est inévitable, les deux dernières options du tableau sont à utiliser. La limite de ces allocations est que l'allocation physique n'est pas toujours applicable (co-production d'électricité et de CO₂, par exemple), ou qu'elle peut donner des résultats non cohérents (co-production de ciment et de CO₂ qui génère une masse comparable des deux) et que la différence entre les revenus associés au CO₂ et au produit principal peut être significative, par conséquent une allocation physique n'est pas recommandée. L'allocation économique n'est pas possible pour deux raisons principales : les prix du CO₂ (ou du produit principal) peuvent varier de manière significative et le CO₂ a une monétarisation faible dans la plupart des marchés.

Ainsi, WeLOOP a proposé une nouvelle méthode basée sur l'offre et la demande, illustrée sur la Figure 5, pour répartir les impacts entre producteur et utilisateur de CO₂. Cette approche est simple à mettre en place, et a pour but d'encourager la mise en place de solutions les plus efficaces possibles, en s'affranchissant de la dépendance aux énergies fossiles.

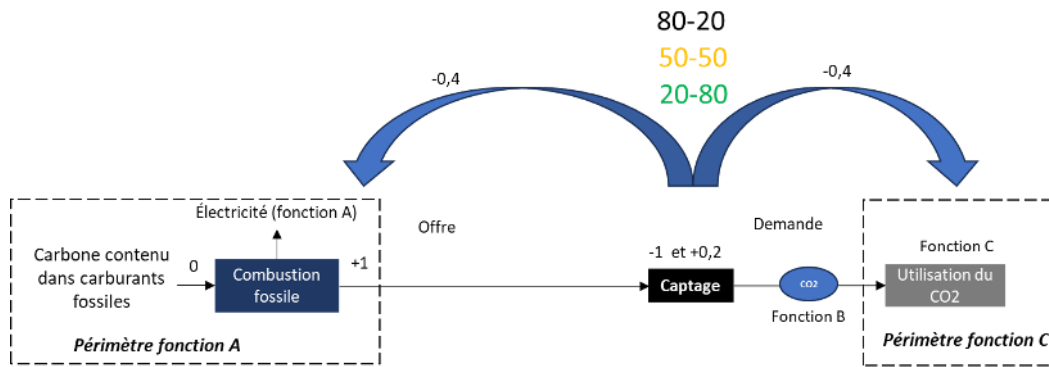


Figure 5 : Allocation offre et demande

Les impacts et bénéfices du captage seront calculés grâce à une extension des frontières du système avec substitution du procédé générant le CO₂, puis ils seront répartis entre le produit principal et le CO₂ selon un facteur d'attribution fixé au niveau politique. C'est une approche hybride, car elle combine une extension des frontières avec une vision attributionnelle et conservatrice. Le système de substitution à choisir présente une équivalence fonctionnelle à la production du produit principal sans captage. Cela mène à une vision proche des impacts réels du produit, contrairement à une substitution du système de captage par un captage direct dans l'air (DAC, *Direct Air Capture*), qui attribue un grand bénéfice au système générant le CO₂. De plus, il n'y a pas le risque de double comptage de la substitution en application d'ISO14040/44.

Le facteur d'attribution est établi entre 0 et 100%, en fonction du marché réel. Actuellement, la quantité de CO₂ captable est significative, mais peu de CO₂ est capté, ce qui aboutit à une offre relativement faible. Des facteurs 80/20, 50/50 ou 20/80 pourraient être utilisés pour éviter des cas marginaux où l'ensemble des impacts et bénéfices seraient attribués à un seul système. Les principales limites de cette méthode sont qu'elle est subjective et politique, à cause du choix du système de substitution et de celui du facteur d'attribution, et que l'effort de captage pourrait ne pas être suffisamment récompensé dans le contexte actuel.

II.3 Approche « mass balance » pour les solutions de CCU/S

L'approche « *mass balance – credit method* » est un modèle qui a été abordé au cours de l'étude, notamment suite à sa mention lors d'entretiens avec les expert-es, en alternative à la méthode « *mass balance – rolling average* » classiquement utilisée en ACV.

Selon ISO 22095, cette modélisation de chaîne de valeur consiste à attribuer les crédits, liés à une approche dite vertueuse dans une industrie, à une partie seule de sa production, tel qu'illustré à la Figure 6.

Par exemple, une compagnie produisant trois produits différents, et captant/stockant 10% de ses émissions totales, pourrait, via l'approche *Mass balance*, déclarer 10% de sa production (produit 1) comme étant neutre en carbone, et les 90% restant sans mention spécifique.

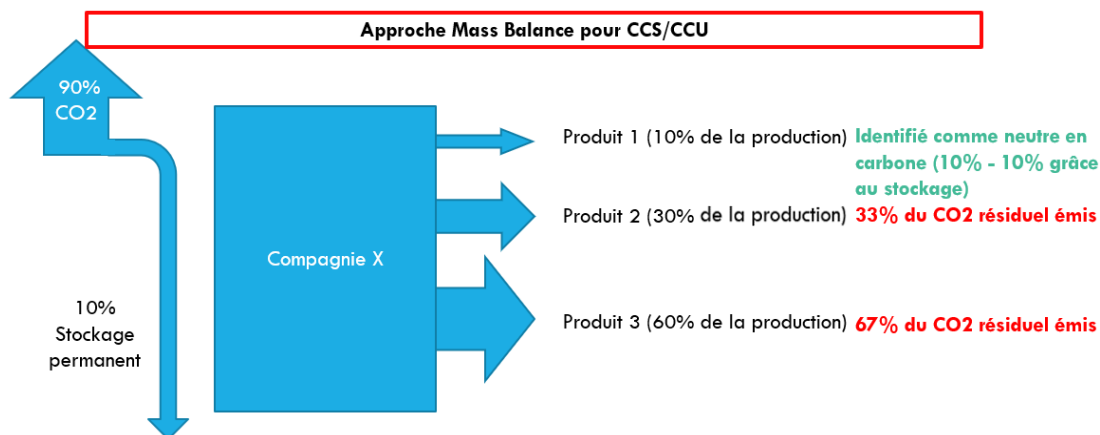


Figure 6 : Approche « mass balance » pour le captage et stockage de carbone

WeLOOP ne recommande pas l'usage de la méthode *Mass Balance – Credit Method* dans l'ACV des solutions CCS/U. Une réduction d'émissions n'étant pas une caractéristique spécifique d'un entrant, elle ne peut donc pas être attribuée à un produit sortant selon ISO 22095. WeLOOP recommande plutôt de pratiquer l'approche « *Mass Balance – Rolling Average* » comme il est classique de le faire en ACV, et où chaque produit bénéficie du captage.

II.4 Statuts de carbone, transfert entre les réservoirs, et temporalité des émissions

Nomenclature des statuts de carbone et transfert entre les réservoirs

Le carbone peut se trouver dans divers réservoirs, dont les principaux sont la biomasse, les sols, la lithosphère, l'océan, et l'atmosphère. Les activités humaines ont une influence sur les concentrations présentes dans ces différents réservoirs. Ainsi, dans les données d'ICV, les flux élémentaires de CO₂ permettent d'identifier les émissions d'origine fossile, biogénique, ou liées à la transformation de l'usage des sols. Une fois dans l'atmosphère, le CO₂ ne peut plus être différencié selon son origine. Le carbone capté par les sols ou la biomasse est identifié comme faisant partie du sol ou de la biomasse, sous le statut « *carbon dioxide, to soil or biomass stock* ».

La considération du cycle de carbone est primordiale pour la bonne application de la méthodologie ACV. Ainsi, WeLOOP recommande de ne pas donner de statut (biogénique ou fossile) au carbone présent dans l'atmosphère, quelle que soit sa source. En revanche, le suivi du statut du carbone dans le produit et de son transfert éventuel de statut permettra la prise en compte correcte des effets à long terme. Le changement de statut est possible, par exemple pour la minéralisation du carbone biogénique contenu dans les déchets industriels banaux (DIB).

Temporalité des émissions

L'ACV telle qu'elle est pratiquée majoritairement est dite « statique » : les absorptions et émissions ont le même impact qu'elles aient lieu aujourd'hui ou dans le futur (c'est par exemple une exigence d'ISO 14067). Cela correspond à la structure matricielle de l'ACV classique et simplifie le travail d'inventaire, de calcul et d'interprétation de cycle de vie.

Concernant la temporalité des émissions, une problématique réside dans le fait que l'impact réel varie en fonction du temps, et que l'agenda politique définit des cibles à horizon temporel fixe, comme la neutralité carbone à l'horizon 2050 pour la France. Les lignes directrices et normes pour l'ACV proposent différentes approches pour prendre en compte la temporalité des émissions (elles sont évoquées au sein d'ISO 14067). La non-prise en compte des effets temporels est due à la difficulté méthodologique liée à la considération de la temporalité en ACV ainsi qu'à l'incertitude sur l'évolution du changement climatique et des impacts des émissions sur le moyen et long terme.

Le Tableau 4 présente les choix méthodologiques des principales normes et lignes directrices.

Tableau 4 : Synthèse des différents traitements de la temporalité en fonction des méthodologies

Temporalité	ISO 14040/44	ILCD	PEF	EN 15804 A2 EN 15978
				RE2020
Court terme 0-100 ans	-	Facteur de correction Informations additionnelles	Pas de flux différencié en fonction de la temporalité. Stockage non autorisé, le carbone est réémis artificiellement.	- Modélisation dynamique à l'échelle du bâtiment
Long terme 100 < < ∞ ans	Non spécifié	Flux élémentaire supplémentaire CO ₂ long terme Sans impact		Pas de temporalité précisée pour le stockage permanent
Stockage quasi-permanent ∞	Déchet Sans impact	Déchet Sans impact		Carbone biogénique réémis, crédit/stockage pour le carbone fossile

WeLOOP recommande de suivre les lignes directrices d'ILCD pour une évaluation appropriée, quand le contexte d'exigences dans lequel le calcul est réalisé n'impose pas une autre règle. L'ensemble des flux à court terme (0-100), à long terme (100-infini) et permanents (infini) doivent être comptabilisés séparément. Cette approche permet la considération de ces flux dans les études en fonction des objectifs fixés. Seul le stockage temporaire pour des produits dont la durée de vie est moyenne ou longue (par exemple supérieure à 5 ans) doit être considéré. Ainsi, une caractérisation des flux de carbone dans les produits avec une capacité de stockage temporaire pourrait être mise en place. Il est également conseillé de déclarer les effets temporaires de stockage de façon séparée dans les résultats.

II.5 Méthodes d'analyse d'impact du cycle de vie

Il existe deux indicateurs, le Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) et le Potentiel de changement de Température Global (PTG), et trois temporalités (20, 100 et 500 ans) pour mesurer l'impact sur le changement climatique des GES (ainsi que deux types de prise en compte des effets : direct et indirect). Le PRG utilise le forçage radiatif comme indicateur, tandis que le PTG utilise la variation de température, et ils sont tous deux exprimés en kg de CO₂ équivalent. L'avantage d'une mesure reflétant le changement de température est qu'il est plus proche des impacts réels par rapport au forçage radiatif, même si sa quantification au moyen de facteurs de caractérisation des flux est plus incertaine que le PRG.

L'utilisation de différents horizons temporels et du PTG permettrait d'analyser plus profondément les résultats des études et d'obtenir des conclusions plus précises. L'ajout de nouveaux indicateurs doit aussi se faire en fonction des objectifs de l'étude et des GES émis. Si le méthane est émis en grande quantité, il est intéressant d'utiliser plusieurs indicateurs. Ce n'est pas le cas si le seul GES est le CO₂.

WeLOOP recommande d'utiliser le PRG100 pour les études à destination d'un public non-expert, pour limiter le risque de confusion : c'est l'indicateur classiquement utilisé (ISO 14067 exige que les derniers facteurs de caractérisation fournis par le GIEC soient utilisés, à date, ceux du rapport AR6). Pour une

étude destinée à un public expert, des indicateurs complémentaires sont utilisables pour la prise de décision.

II.6 Modélisation dynamique

Contrairement à l'ACV classique dite « statique », l'ACV dynamique prend en compte la temporalité des émissions différées. Le stockage temporaire de carbone dans les produits peut donc être pris en compte dans l'évaluation des impacts. Cela pourrait en théorie permettre une évaluation plus représentative de la réalité. En effet, l'impact des émissions de CO₂ sur 100 ans après une durée de vie de 75 ans (donc, sur la période T+75 à T+175) ne sont pas les mêmes que l'impact des émissions considérées au temps 0 (T0 à T+100). Pour que les impacts engendrés par les deux émissions soient comparables, il faudrait comparer le résultat du premier calcul de T+75 à T+175 pour l'émission ayant lieu à T75 au calcul de T0 à T+175 pour l'émission ayant lieu à T0. Néanmoins, la modélisation des impacts dynamiques est complexe, et la méconnaissance du contexte climatique futur rend l'évaluation des impacts différés incertaine. De plus, la modélisation dynamique d'une seule catégorie d'impact (changement climatique en l'occurrence) peut manquer de cohérence dans le cadre d'une ACV.

Les approches ILCD et RE2020 intègrent une approche dynamique, et elle est spécifique à l'indicateur changement climatique. Elle est intégrée à partir de l'étape d'Analyse d'Impact de Cycle de Vie (AICV). Pour ILCD, un facteur de correction linéaire est appliqué dans les informations additionnelles de 0 à 100 ans, avec un crédit de 0 à 100 ans. RE2020 a un facteur de correction proche, mais il est appliqué à l'échelle d'un bâtiment, et non à l'échelle du produit comme ILCD.

II.7 Problématiques liées aux solutions de CCU/S

A cause de leur faible NMT et/ou leur faible déploiement à grande échelle, certaines questions sont plus prégnantes pour les solutions de CCU/S : les fuites et la stabilité des différents stockages de carbone, et les émissions des données considérées pour modéliser les procédés CCU/S.

Le transport est la source de fuites la plus importante pour le carbone capté par la voie technologique. Elles sont négligeables pour le CO₂ capté par voie naturelle. Des estimations des fuites sont fournies par l'Innovation Fund (European Commission, 2020). Il y a un besoin identifié de méthodes d'évaluation ou de prédiction pour l'avenir.

Le calcul des émissions liés aux procédés des solutions de CCU/S, notamment le mix électrique utilisé dans la modélisation, est sujet à débat dans les entretiens qui ont été réalisés. L'électricité est souvent fortement impactante dans les procédés de captage de CO₂, et peut l'être ensuite pour son utilisation ou son stockage. Par exemple, le PRG de la production de méthanol à partir de CO₂ peut diminuer de 90% en fonction du mix utilisé (Ana Villa-Zaragoza et al., 2019).

WeLOOP recommande donc de réaliser une analyse de sensibilité pour le mix électrique, avec un mix représentatif de la situation actuelle (en fonction de la localisation du site par exemple), et plusieurs mix prospectifs.

III. ÉTUDES DE CAS

Les résultats de calcul entre différents produits ont été obtenus via quatre méthodologies ou normes : ILCD, PEF, EN15804 A2 et ISO14040/14044. Les études de cas ont été réalisées sur le biodiesel de 2^e génération (produit à partir de bois et de paille), les pellets de bois, la laine de bois (avec deux fins de vie possible, incinérée ou mise en décharge) pour comparer le stockage associé à différentes utilisations et enfin sur différents types de ciment pour comparer le stockage géologique d'un même produit.

Ce travail ne résulte pas en une allégation environnementale concluant sur la supériorité d'un produit par rapport à un autre au sens d'ISO 14044. Les pellets et la laine de bois ont été mis en perspective pour afficher le potentiel de stockage de produits utilisant la même matière première, et l'influence de la fin de vie sur le stockage. Trois ciments différents ont été utilisés : le ciment CEM I, donnée issue d'Ecoinvent, et deux ciments dont le carbone est capté puis stocké. La différence entre ces deux derniers est que l'un utilise des combustibles solides de récupération (CSR, carbone statut biogénique), l'autre un combustible fossile pour la production de clinker.

La Figure 7 présente les résultats pour les produits issus du bois. Les pellets servent de référence car il n'y a pas d'effet de stockage : le résultat obtenu est donc le même pour toutes les méthodologies. Le crédit ILCD est sommé avec les résultats, mais en réalité il est affiché séparément. On observe que ILCD encourage le stockage le plus long possible, avec une valorisation de la mise en décharge, soit -2,1 kgCO₂eq/kg, contre -0,7 kgCO₂eq/kg pour la laine de bois incinérée et 0,1 kgCO₂eq/kg pour les pellets. Pour PEF et EN15804, il n'y a presque pas de variation entre les différents produits, car le stockage n'est pas pris en compte. ISO14040 autorise la considération du stockage permanent, sans effet dynamique, ce qui aboutit à un résultat égal aux pellets pour la laine de bois incinérée, et négatif pour la mise en décharge.

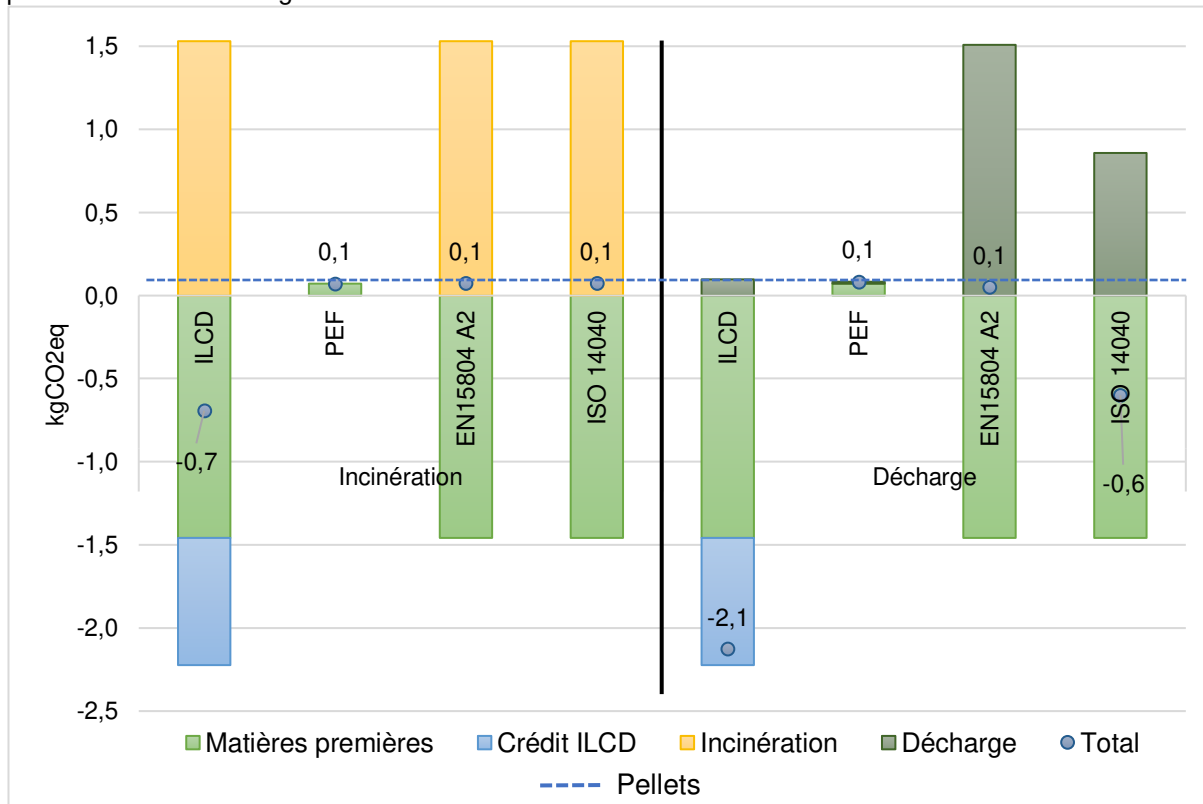


Figure 7 : Émissions de GES par méthode pour 1 kg de laine de bois incinérée (à gauche) ou mise en décharge (à droite) en fin de vie

La Figure 8 présente les résultats pour les différents ciments. Avec ILCD, les résultats pour les ciments fossile et CSR sont égaux, soit 0,01 kgCO₂eq/kg, car les CSR ont le statut de déchet, et n'ont donc pas de bénéfice associé au carbone biogénique capté. Pour PEF, l'utilisation de CSR est valorisée, avec 0,99 kgCO₂eq/kg pour le ciment CSR et 1,15 kgCO₂eq/kg pour le ciment fossile mais l'impact total est supérieur à celui du CEM I (0,9 kgCO₂eq/kg), car le stockage n'est pas autorisé, et donc l'effort supplémentaire nécessaire au captage n'est pas récompensé. EN15804 autorise le stockage de carbone fossile, mais pas de carbone biogénique, ce qui aboutit à des impacts supérieurs pour le ciment CSR (0,01 kgCO₂eq/kg et 0,17 kgCO₂eq/kg respectivement). Pour ISO, les résultats sont égaux à ILCD car il n'y a pas d'effet d'utilisation temporaire.

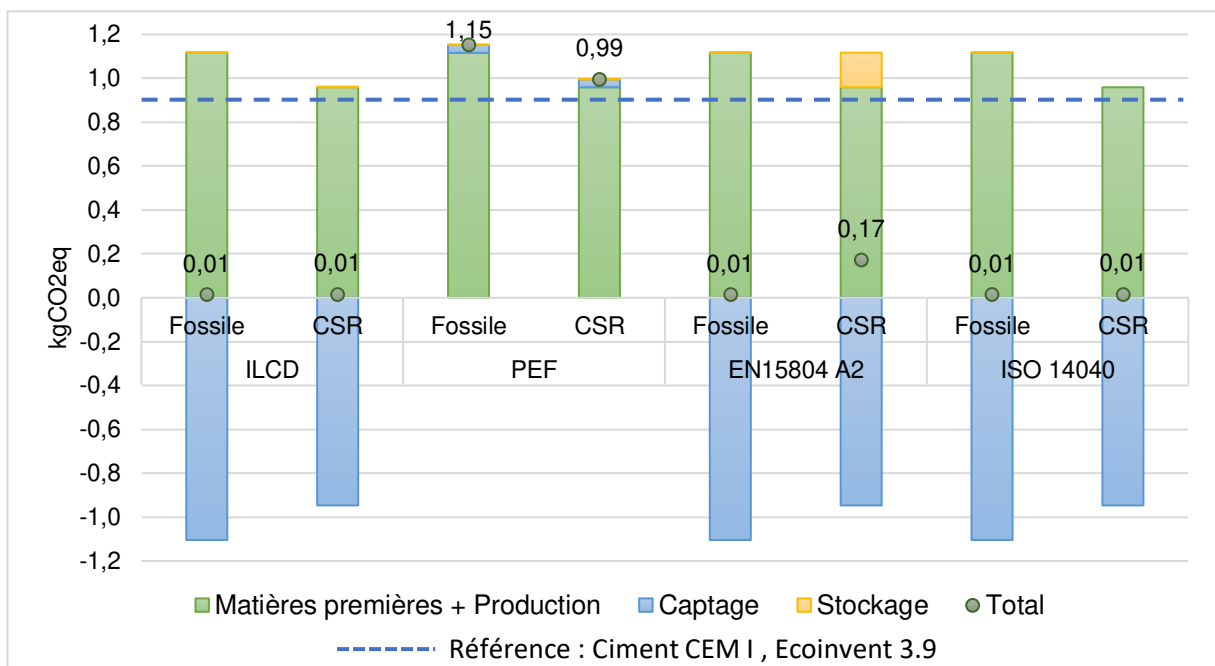


Figure 8 : Émissions de GES par méthode pour 1 kg de ciment