



La substitution de bois à des produits énergivores est-elle efficace ?

Gérard Deroubaix, Estelle Vial – FCBA

Séance publique de l'Académie d'Agriculture de France

**Dans quelle mesure
la filière forêt-bois peut-elle
atténuer le changement climatique ?**

Paris, 10 décembre 2025.

- ✓ **Qu'est-ce que la substitution et comment la quantifier ?**
- ✓ **Quels sont les enjeux à l'échelle nationale ?**
- ✓ **Pourquoi et comment utiliser les coefficients de substitution ?**
- ✓ **Quelles perspectives pour la projection à long terme ?**

Parmi les leviers d'atténuation du changement climatique, qu'est-ce que la substitution ?

- ✓ La fabrication de produits bois permet d'émettre moins de Gaz à Effet de Serre (GES) que des produits de même fonctionnalité à base de ressources fossiles ou nécessitant de plus fortes consommations d'énergies fossiles pour leur fabrication, usage et fin de vie.
- ✓ La production d'énergie à base de bois en substitution d'énergies fossiles permet d'éviter l'émission de GES d'origine fossile.
- ✓ La substitution est un moyen de mesurer « la mesure dans laquelle un produit ligneux ou un combustible génère moins ou plus de GES fossiles sur l'ensemble de son cycle de vie qu'un matériau ou un combustible fonctionnellement équivalent » (Rüter et al. 2016).
- ✓ Le Sixième rapport d'évaluation du GIEC — AR6, groupe de travail « Atténuation », reconnaît (de nouveau) cet effet d'atténuation de la biomasse pour l'énergie et des produits biosourcés.



Rüter et al. 2016 : [ClimWood2030 - Climate benefits of material substitution by forest biomass and harvested wood products: Perspective 2030. Final report](#)

Comment quantifier la substitution ?

- ✓ **La substitution matière** correspond à la quantité d'émissions de GES d'origine fossile évitées par le recours à un produit bois à la place d'un produit alternatif (béton, acier, brique, aluminium, etc.), ayant une empreinte carbone moins favorable.
- ✓ **La substitution énergie** correspond aux émissions de GES d'origine fossiles évitées par le recours à du bois énergie à la place de ressources énergétiques de référence fossiles (gaz naturel, pétrole, charbon), ayant une empreinte carbone moins favorable.
- ✓ Elle peut être mesurée pour chaque produit bois, en fonction des produits qu'il peut substituer, par un « coefficient de substitution » ou « facteur de déplacement »

- ✓ Un facteur de déplacement négatif indique que l'utilisation du bois génère moins de gaz à effet de serre fossiles qu'un autre matériau.
- ✓ Chaque facteur de déplacement est spécifique à une unité fonctionnelle particulière.

- **Displacement factor** =
$$\frac{\text{Impact}_{\text{Non wood product}} - \text{Impact}_{\text{Wood product}}}{\text{Wood contained in product}}$$

- ✓ Le facteur de déplacement est scindé en 2:

- **La phase de production:**

- Par ex. Inventaire du cycle de vie (ICV) de la production de 1 m² de bardage en bois moins ICV de la production de 1 m² de bardage en acier

- **Le phase de fin de vie:**

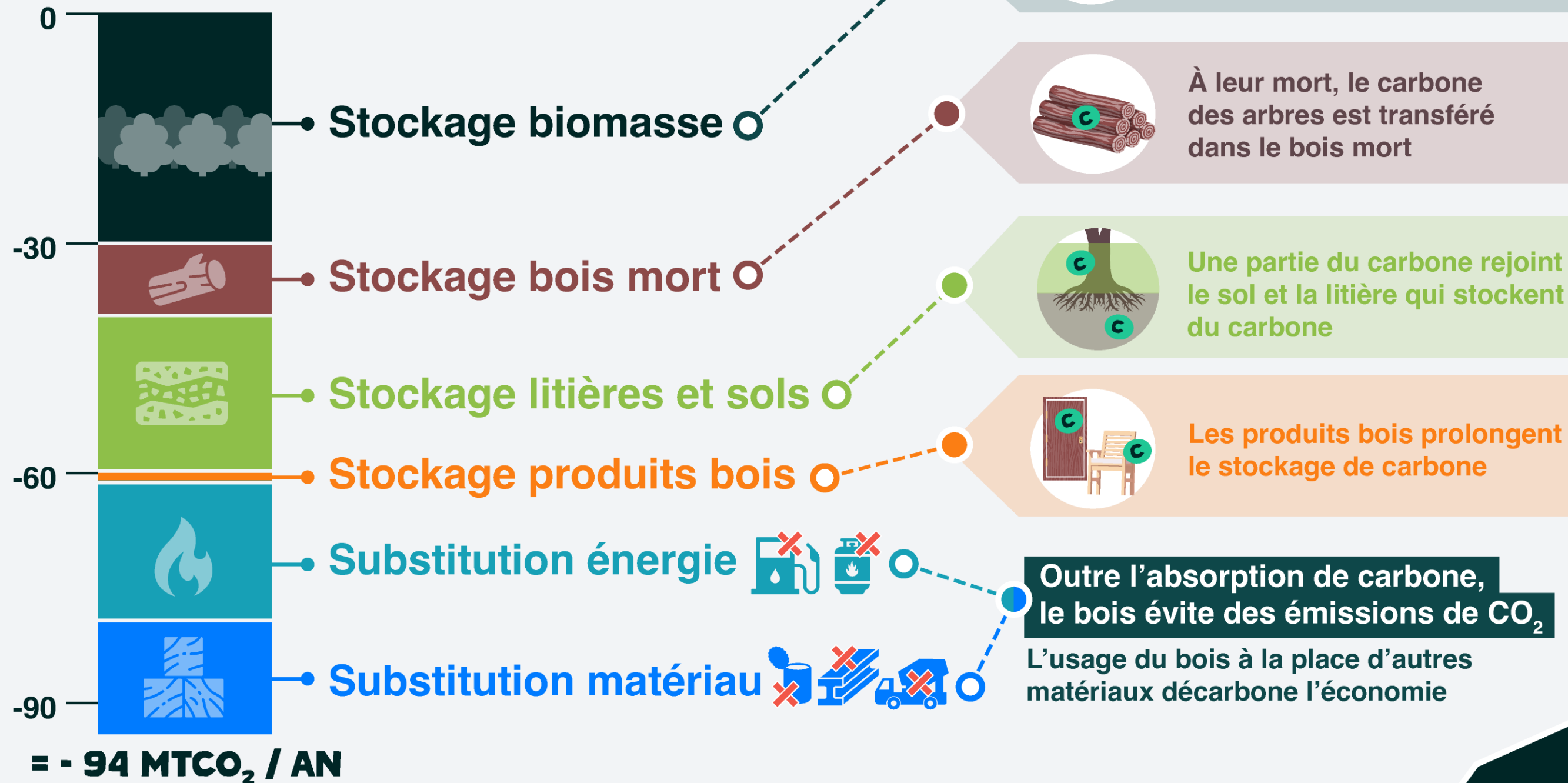
- Par ex. ICV de fin de vie de 1 m² de bardage bois (incluant crédits si récupérés en fin de vie) moins ICV de 1 m² de bardage acier (incluant crédits si recyclé)

Qu'est-ce que la substitution et comment la quantifier ?

- ✓ **Des données moyennées sur les produits bois matériau et sur le bois énergie donnent les valeurs indicatives suivantes :**
 - 1,52 tCO₂/m³ de bois dans les produits
 - 0,5 tCO₂/m³ de bois utilisé en énergie
- ✓ **Qui permettaient de donner des évaluations à l'échelle nationale d'effets totaux de substitution dès 2015, de l'ordre de 32 Mteq.CO₂**

DEPUIS DES ANNÉES, LA FORÊT ET LE BOIS ABSORBENT ET ÉVITENT DES ÉMISSIONS DE CO₂ EN FRANCE

Bilan carbone de la forêt et du bois, en MtCO₂ / an sur la période 2015-2019 :



**Le bois est un matériau
NATUREL ET RENOUVELABLE**

Chaque année, les activités liées à la forêt et au bois absorbent plus de carbone qu'elles n'en émettent, ce qui est bon pour le climat. Elles contribuent à réduire la teneur en CO₂ de l'atmosphère, le bilan carbone est donc affiché en négatif.

- ✓ **Mais tout l'enjeu pour une quantification robuste des effets de substitution est d'analyser les effets produit par produit en considérant les Inventaires de Cycle de Vie des produits bois, ceux des produits substitués et leur mix marché, pour établir des facteurs de déplacement spécifiques.**

Qu'est-ce que la substitution et comment la quantifier ?

✓ **Une base de données de coefficients de substitution a été développée par FCBA suite à différents projets européens et français** (Werner et al. 2007, CLIMWOOD2030, FORMIT, GESFOR, Etude prospective Construction Bois, Dispobois).

- Base de données disponible sur Simapro, logiciel d'ACV.
- Elle comprend la modélisation de 20 Unités Fonctionnelles couvrant les différents secteurs : ameublement, emballage, construction et énergie.
- Les données les plus spécifiques sont décrites dans (Valada 2016) (projet Formit).
- En 2024-25, le CLT, le parquet et le béton mixte bois ont été ajoutés, grâce à des projets français.

✓ **Les données paramétrées ont été mises à jour pour les projets DISPOBOIS¹ et BACCFIRE² :**

- Gestion de fin de vie des produits bois et de certains produits concurrents,
- Périmètre France
- Contenu recyclé des métaux,
- Réseau de chaleur (utilisé à la fois comme intrant et comme impact évité pour la récupération d'énergie)

(1) *IGN et FCBA. 2024 : Projections des disponibilités en bois et des stocks et flux de carbone du secteur forestier français, étude réalisée pour le MASA, le MTE et l'ADEME.*

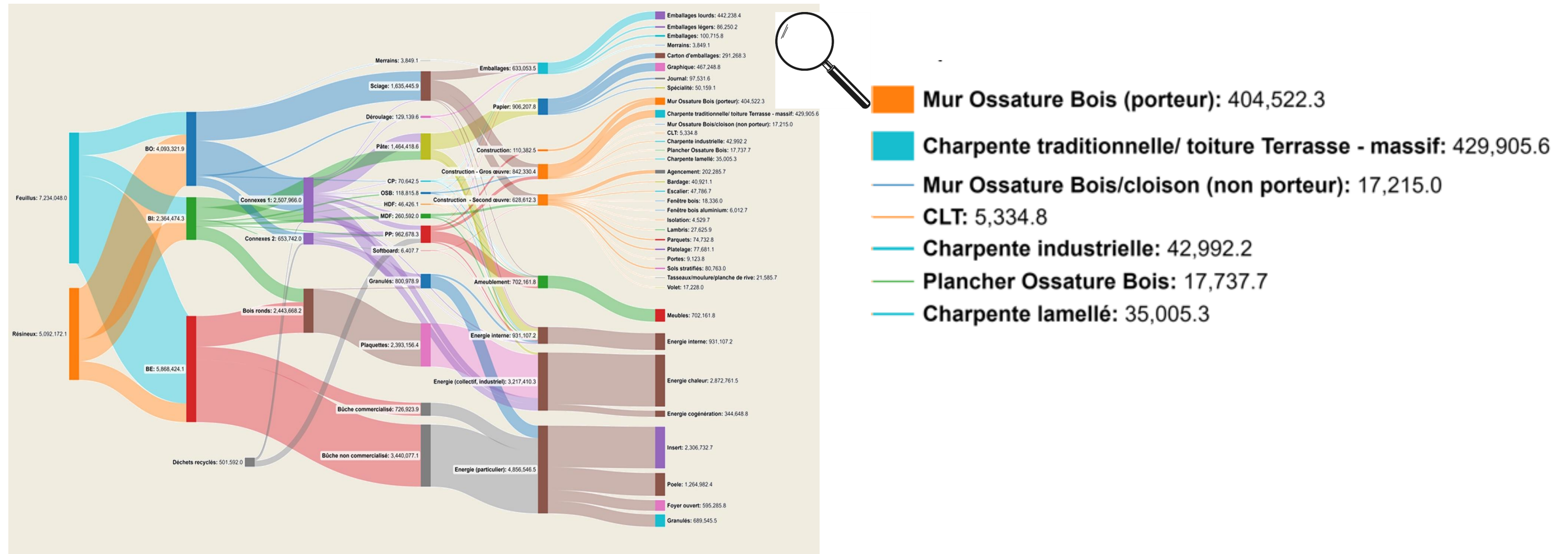
(2) *ONF, IGN, FCBA, TerriFlux, INRAE : Evaluation des contributions du carbone forestier et des produits Bois à l'Atténuation du Changement Climatique par construction de schémas de Filières génériques; Projet en cours*

Description de la base de données FCBA sur la substitution

Produits bois	Unité fonctionnelle	Produits substitués
Ameublement	Etagère	Etagère en acier
Emballage	Palette	Palette plastique
Construction : structure	Mur extérieur	Mur en béton et mur en brique
	Charpente de bâtiment tertiaire en lamellé collé	Charpente en béton et en acier
	Charpente industrielle	Charpente industrielle en acier
Construction : second œuvre	Bardage	Bardage en acier et bardage en aluminium
	Aménagement	Panneau de plâtre
	Sol laminé	Sol en PVC
	Parquet en bois massif	Sol en pierre et en céramique
	Parquet contrecollé	Sol en pierre et en céramique
	Fenêtre en bois	Fenêtre en PVC et fenêtre en aluminium
Energie	Chaleur produite par les granulés dans un poêle de particulier	Mixe moyen
	Chaleur produite par un insert	Mixe moyen
	Chaleur produite par une cheminée	Mixe moyen
	Chaleur produite par une Chaudière et par une centrale de cogénération	Mixe moyen
	Electricité produite par une Chaudière et par une centrale de cogénération	Mixe moyen
Papier et pâte à papier		Pas de substitution

Comment utiliser les coefficients de substitution ? Pour la production d'un système forêt-bois

- ✓ **L'analyse flux matière** (schéma de filière représenté le plus souvent par un diagramme de Sankey) **permet de calculer les quantités de produits à base de bois fabriqués à chaque pas de temps:**



Source: IGN et FCBA. 2024 : Projections des disponibilités en bois et des stocks et flux de carbone du secteur forestier français, étude réalisée pour le MASA, le MTE et l'ADEME. (DISPOBOIS)

- ✓ **A chaque quantité de produit ou d'énergie, un coefficient de substitution est appliqué permettant de calculer l'impact généré moins l'impact évité par le produit ou l'énergie bois**

✓ Et donc, à l'aide des coefficients de substitution détaillés par produit (DISPOBOIS 2024), on obtient un effet total de substitution 2019, sur la base de la récolte nationale et de ses usages matériau et énergie, de **17 Mteq.CO2**

- Substitution matériau : 8,3 Mteq.CO2
- Substitution énergie : 8,7 Mteq.CO2

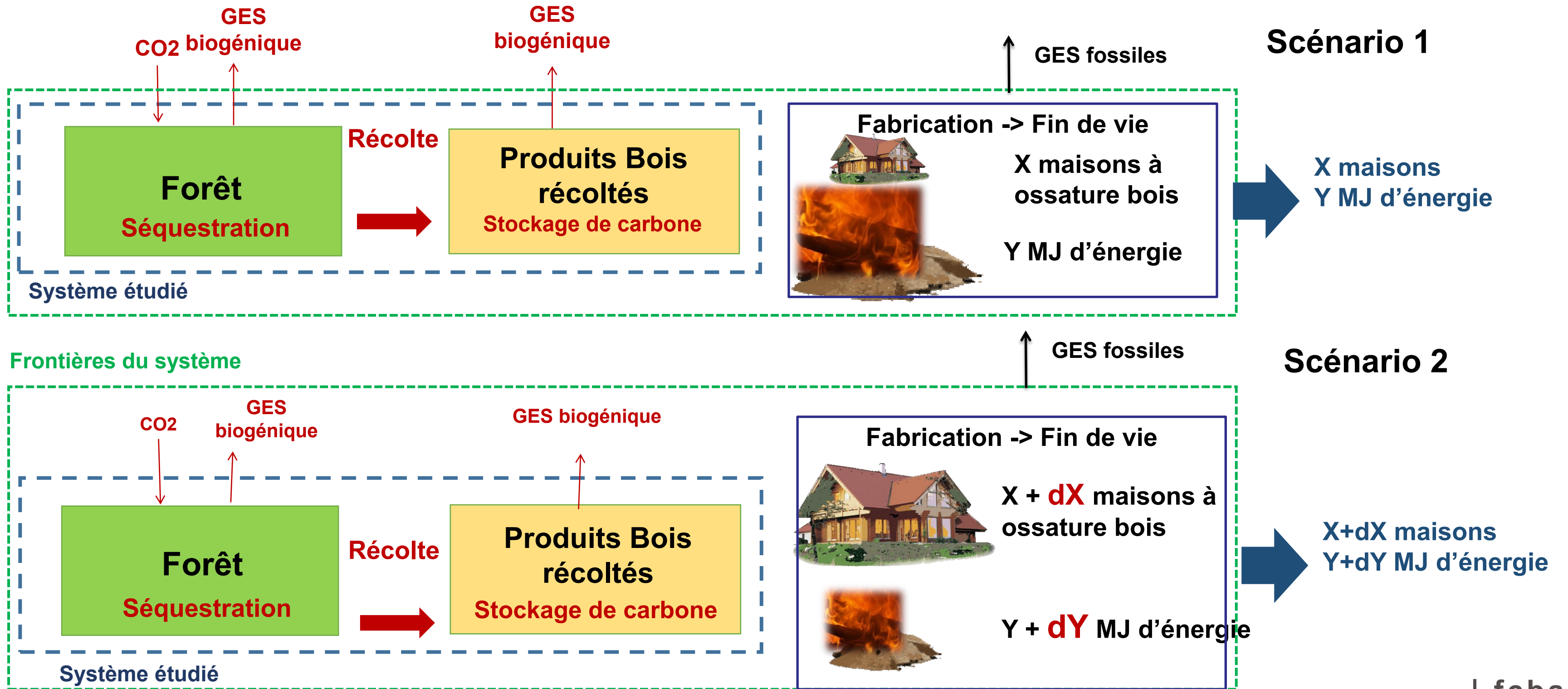
Effet de substitution absolue (Estimation d'un effet de substitution sur l'ensemble de la production nationale)

Pour étudier, sur un territoire, des scénarios de récolte et d'utilisation de la récolte, il faut :

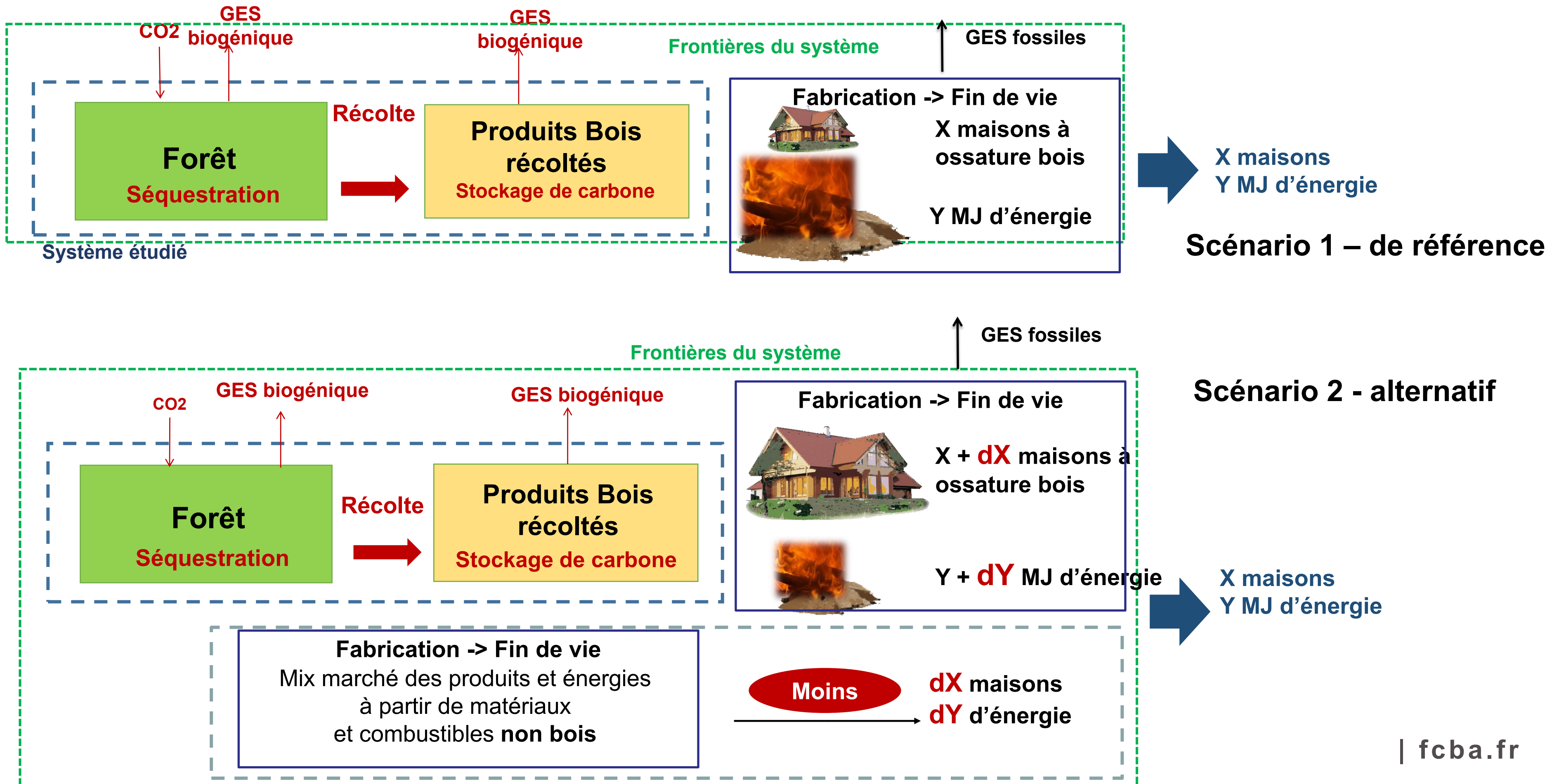
- Un scénario de référence :**
- Un ou des scénarios d'étude :**
 - Plus ou moins de récolte**
 - Plus ou moins d'usage matériau / usage énergie**

Pourquoi et comment utiliser des coefficients de substitution ?

- ✓ L'utilisation de la substitution permet de comparer des scénarios de gestion forestière et/ou de répartition de la récolte entre eux



Pourquoi et comment utiliser des coefficients de substitution ?



2

QUELS POURRAIENT ÊTRE LES EFFETS DE L'AUGMENTATION DE L'OFFRE POUR SATISFAIRE LA DEMANDE ?

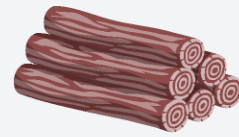


Hypothèses où les crises climatiques se répètent (intermédiaire) et le plan de renouvellement serait atteint dès 2030*

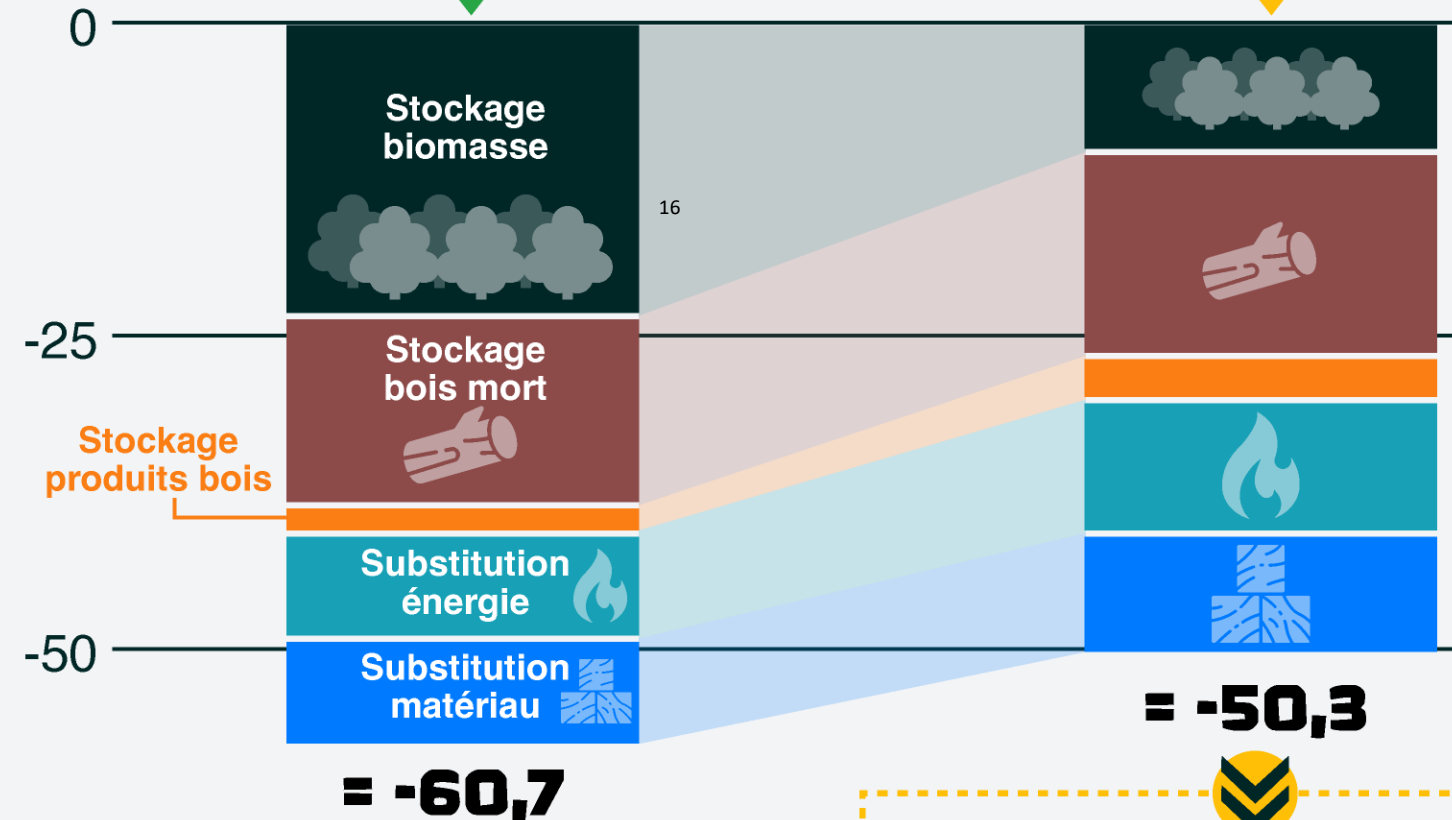
Bilan carbone forêt-bois moyen /an sur la période 2020-2050 (en MtCO₂)

- La biomasse reste le principal contributeur au stockage de carbone

Le bilan carbone repose pour 1/3 sur la biomasse, 1/3 sur le bois mort (non pérenne) et 1/3 sur les usages des bois



Si on conservait le niveau actuel du volume de bois récolté



Si on coupait plus (+20%) de bois pour satisfaire la demande future et limiter les imports



L'atteinte de ce scénario suppose d'augmenter la gestion en forêt privée et de savoir valoriser les bois de crises, notamment sous forme de produits à longue durée de vie

- Le stockage dans la biomasse diminue mécaniquement mais reste positif
- Et celui des produits en bois augmente

Le poids des effets de substitution s'accroît
(remplacement d'autres matériaux et énergies par du bois moins émetteur)

*Que le plan de renouvellement soit atteint en 2030 ou en 2035 n'a que peu d'effet sur le bilan carbone avant 2050.

3

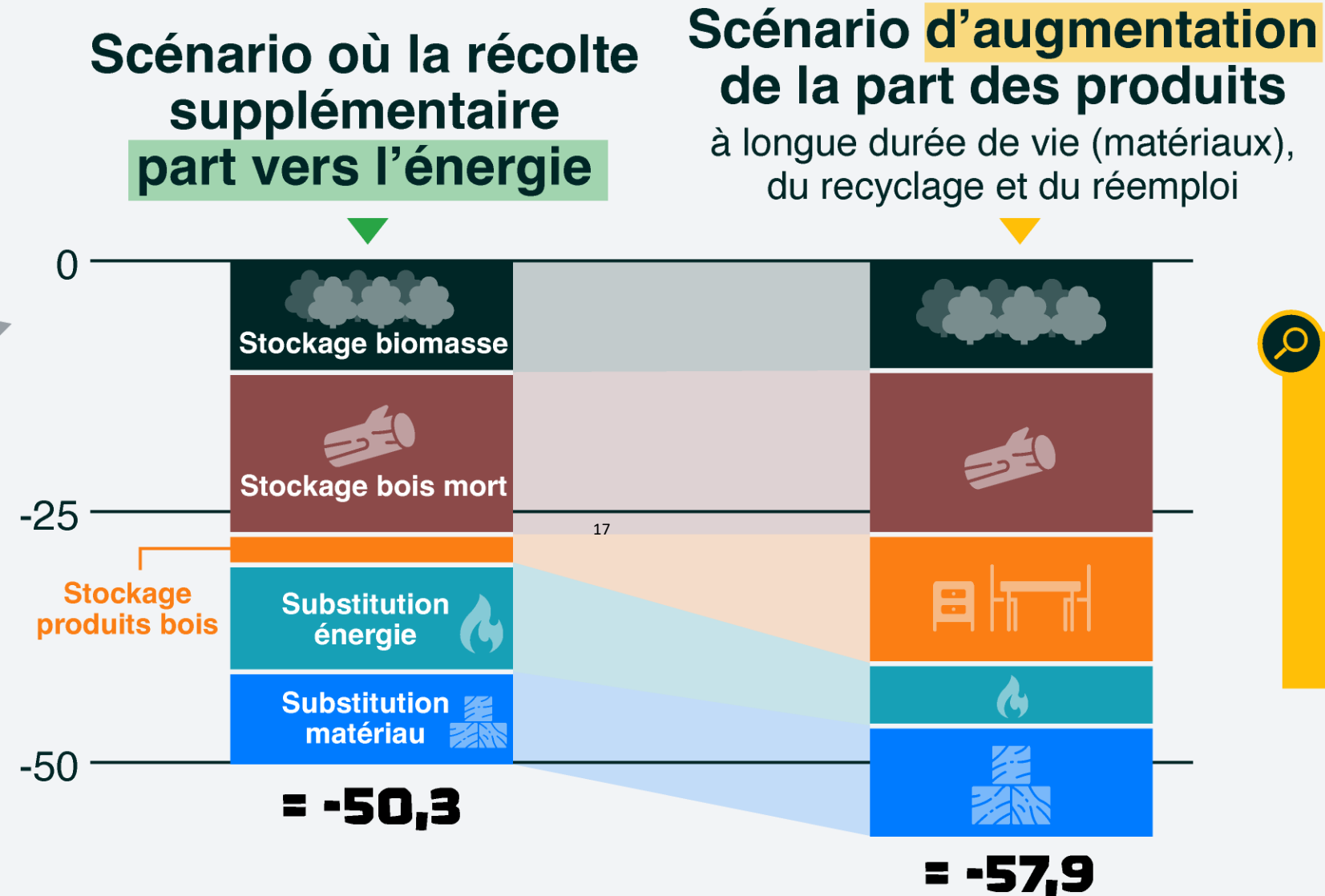


QUELS POURRAIENT ÊTRE LES EFFETS D'UN CHANGEMENT DES USAGES DU BOIS ?



Hypothèses où le plan
de renouvellement serait atteint
dès 2030 et la récolte satisfait
la demande en bois

Bilan carbone forêt-bois moyen /an
sur la période 2020-2050 (en MtCO₂)



La mise en œuvre
du scénario nécessite
des investissements
majeurs dans la filière bois
et des transformations
majeures dans les choix
des consommateurs

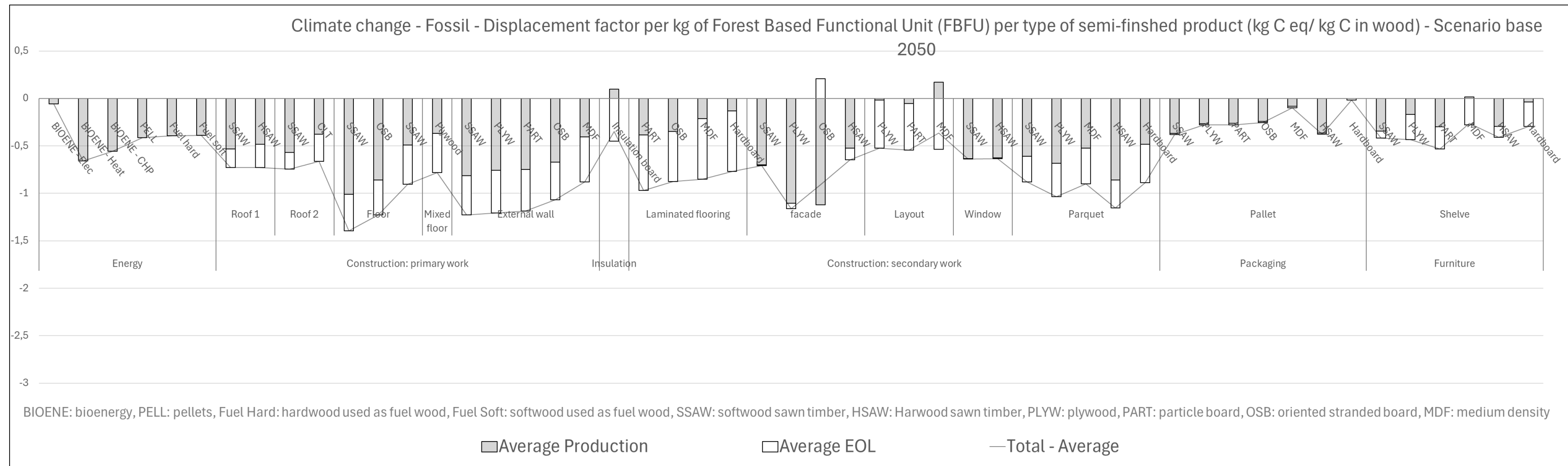
- Le stockage dans les produits bois est multiplié par 4
- L'effet de substitution permis par l'usage de bois matériau progresse de 30 % tandis que celui du bois énergie se contracte

Pour un même volume de bois récolté, le bilan carbone du secteur augmente de 20 % grâce à la réallocation des bois vers des usages plus durables et au meilleur recyclage des bois en fin de vie

Pour projeter à long terme, la phase suivante est la prise en compte de la temporalité

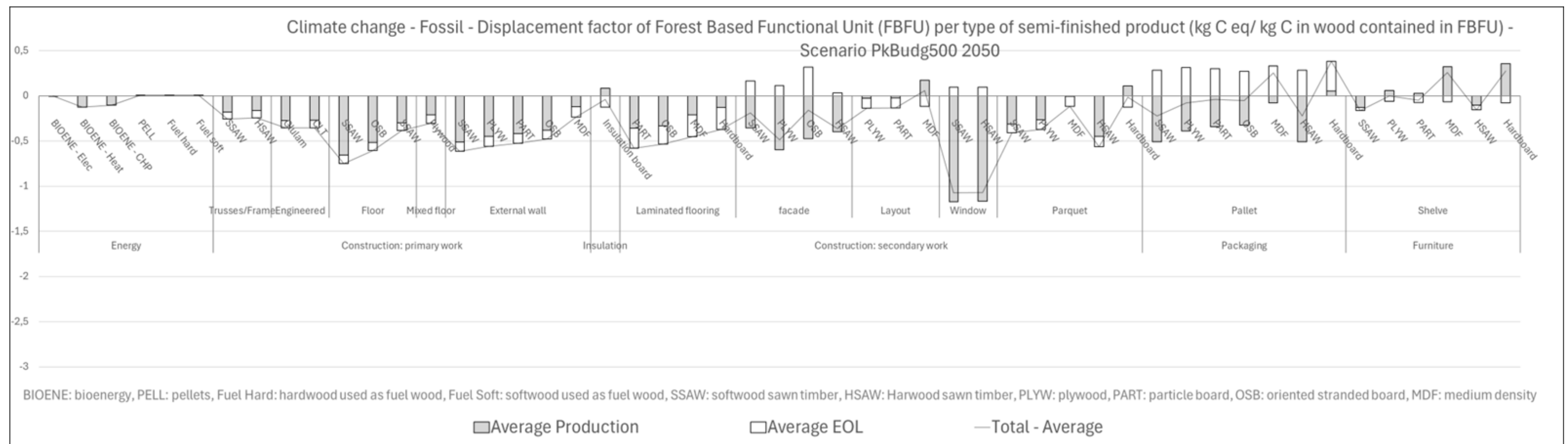
- ✓ **La temporalité dans l'impact de substitution est prise en compte via:**
 - L'évolution de la récolte: volume, répartition entre feuillus et résineux, repartition entre BO et BIBE ce qui n'engendre pas au final les mêmes produits,
 - L'évolution du schéma de filière (exemple: plus de bois construction, plus de bois énergie, plus de recyclage etc.)
 - L'évolution des coefficients de substitution (statiques, dépendant des scénarios de décarbonation)
- ✓ **Dans l'étude Dispobois, une analyse de sensibilité a été faite sur la décarbonation des coefficients de substitution en se basant sur 3 secteurs (acier, ciment, électricité):**
 - Les effets de substitution sont amoindris mais restent positifs pour le bois
- ✓ **Dans les projets ForestNavigator (projet européen, H2020, en cours) et Baccfire (Programme Graine ADEME, en cours), des calculs de décarbonation ont été réalisés en utilisant la base de données Premise.**
 - La base de données Ecoinvent est remplacée par la base de données Premise, dynamique dans le temps et dépendante du scénario étudié (Sacchi et al., 2022). Elle donne un inventaire de cycle de vie de la production d'électricité pour une année donnée dans les 100 ans à venir et pour un scénario avec plus ou moins de mesures mises en place pour décarboner.
 - Dans cette analyse de sensibilité, le scénario choisi est le scénario PkBudg500 de la base de données Premise correspond à un avenir où l'Accord de Paris est mis en œuvre et où la neutralité carbone est atteinte avant 2050, soit moins de 500 Gt CO2 émises entre 2020 et 2050. Il s'agit donc d'un scénario extrême de décarbonation. Dans le livrable (Yang et al., 2024) du projet ForestNavigator, d'autres scénarios plus réalistes de décarbonation ont été étudiés. L'année considérée est l'année 2050.

Prise en compte de la temporalité : décarbonation



For the baseline scenario, the displacement factors range from -1,9 kg eq. C/kg C to -0,032 kg C eq. C/kg C in 2050. The average value for material substitution is -0,87 kg C eq./kg C

In the more decarbonized scenario, the PkBudg500 scenario, displacement factors vary from -1,07 kg eq. C/kg C to +0,47 kg C eq. C/kg C. The arithmetic average value for material substitution is -0,27 kg C eq./kg C



- ✓ **Parmi les leviers d'atténuation du changement climatique du système forêt-bois, la substitution représente un enjeu fort (de l'ordre de 20 Mteq.CO₂) :**
 - dont la contribution relative sera croissante (par rapport au puits forestier par exemple)
 - qui peut être renforcé par le développement de l'emploi bois, notamment matériau
 - qui peut être affecté en valeur absolue par la décarbonation de l'économie
- ✓ **Pour garder un effet de substitution fort (différentiel d'empreinte carbone avec les produits concurrents), la filière bois doit aussi se décarboner.**

Merci de votre attention.