6 avril 2022

Anne Ventura

Valorisation des déchets et bénéfices environnementaux : que nous dit l'Analyse de Cycle de Vie ?

Ouverture vers la question de l'évaluation de la transition écologique par l'ACV

Université Gustave Eiffel

CONTEXTE

Plan européen sur l'économie circulaire(1)

- « réduire la pression sur les **ressources naturelles** »
- « une condition préalable à la réalisation de l'objectif de **neutralité climatique** de l'UE en 2050 et à l'arrêt de la perte de **biodiversité** »

Exemple de la déclinaison pour l'industrie cimentière concernant le changement climatique(2)

- Actions concernant l'énergie
  - Réduire la consommation énergétique des fours
  - Réduire la part des carburants fossiles dans le mix énergétique
- Actions concernant l'économie circulaire
  - **Substituer des carburants fossiles** par de l'incinération de **déchets**
  - **Substituer le clinker** par des additions minérales issues de la valorisation de **déchets** industriels

(1) https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_fr
(2) Cao, Z., Massanet, E., Tiwari, A., Akolawala, S., 2021. Decarbonizing Concrete: Deep decarbonization pathways for the cement and concrete cycle in the United States, India, and China. Industrial sustainability analysis lab - Climateworks foundation

Université Gustave Eiffel

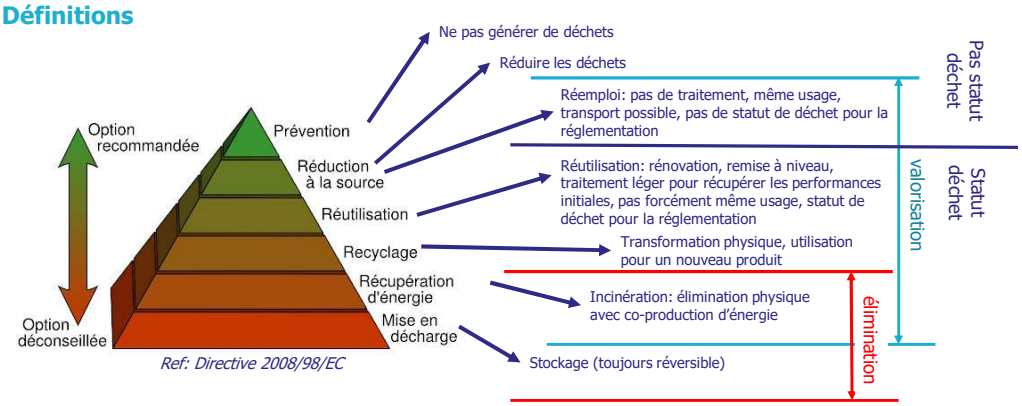
LA VALORISATION DES DÉCHETS EST-ELLE LA SOLUTION POUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE (ET D'AUTRES ATTEINTES À L'ENVIRONNEMENT) ?

- Bases méthodologiques
  - La méthode Analyse de Cycle de Vie (ACV)
  - Définitions sur la valorisation des déchets
- ACV et valorisation des déchets
  - Quels bénéfices environnementaux peut-on attendre de la valorisation des déchets ?
  - Comment sont évalués les bénéfices environnementaux par l'ACV?
  - Quelles limites ?
- ACV et transition écologique
  - Exemple du recyclage des scories du nickel pour produire du ciment en Nouvelle Calédonie

Université Gustave Eiffel

VALORISATION DES DÉCHETS

Définitions



Ref: Directive 2008/98/EC

Toute la réflexion suivante s'applique à l'ensemble des solutions de **VALORISATION** incluant:
- des non-déchets (réemploi)
- l'incinération avec récupération d'énergie (élimination)

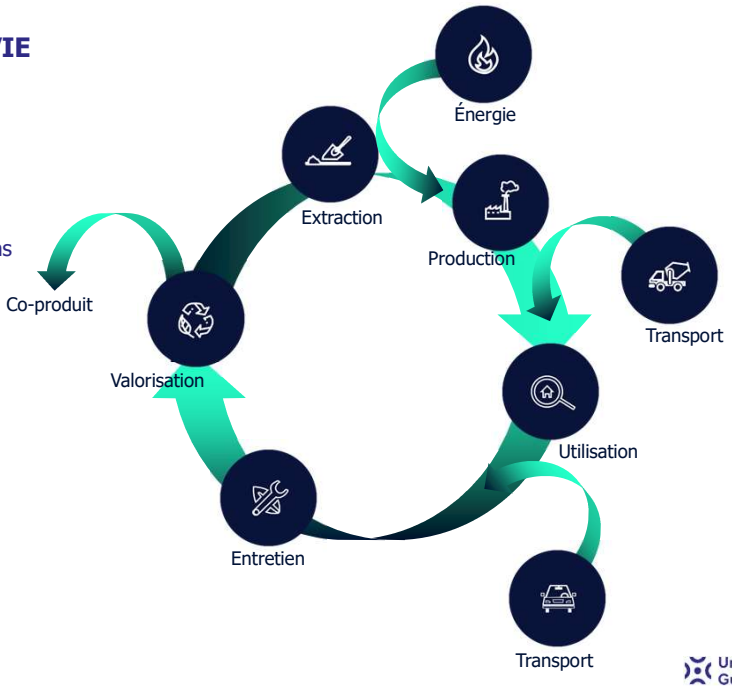
Un déchet valorisé devient un co-produit: produit obtenu de manière **concomitante** et **inévitable** à un autre produit, **et** ayant une **valeur économique** après un **traitement** plus ou moins lourd**.**

Université Gustave Eiffel

L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Principes

- **On comptabilise :**
  - Les rejets et les prélèvements dans l'environnement
  - Les consommations et les productions
- **Toutes les étapes**
  - Extraction
  - Transformations, production
  - Utilisation, entretien
  - Fin de vie
- **On évalue tous les effets sur l'environnement:**
  - Changement climatique
  - Économie de ressources
  - Toxicité humaine et écotoxicité
  - Acidification
  - …

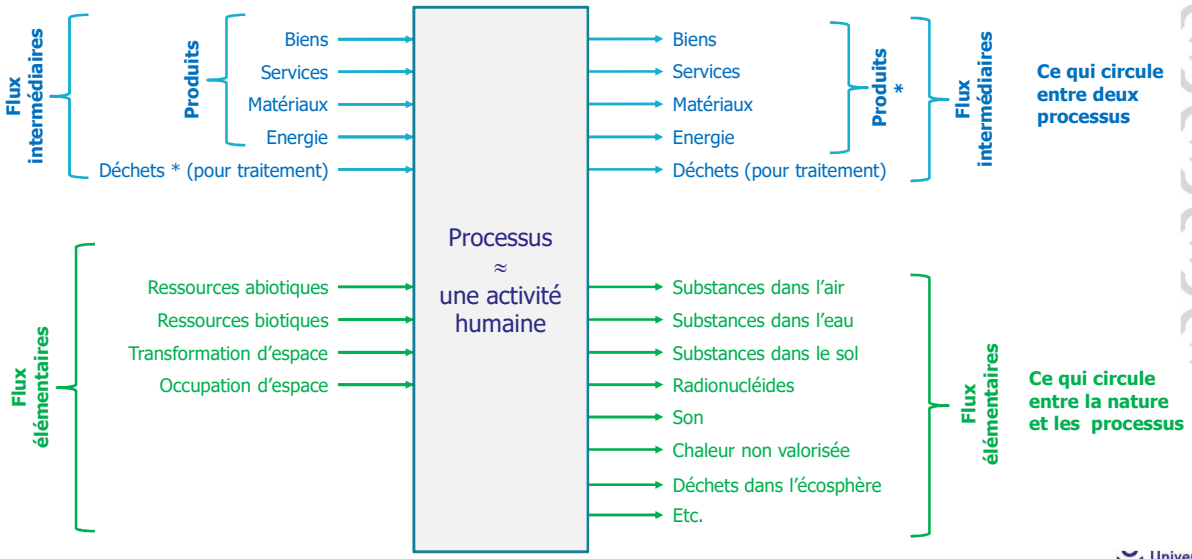


5

Université Gustave Eiffel

LE MODELE DE PROCESSUS: LA BRIQUE DE BASE DE L'ACV

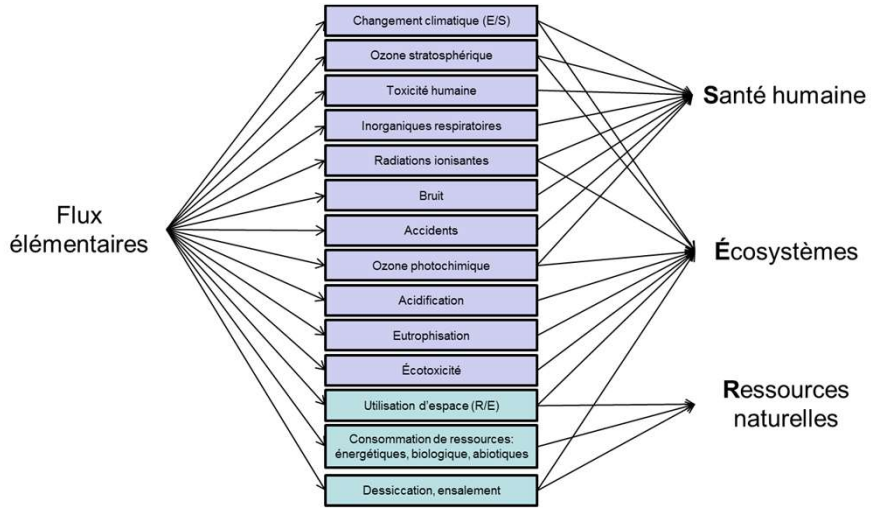
*flux de référence



6

Université Gustave Eiffel

LE CALCUL DES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

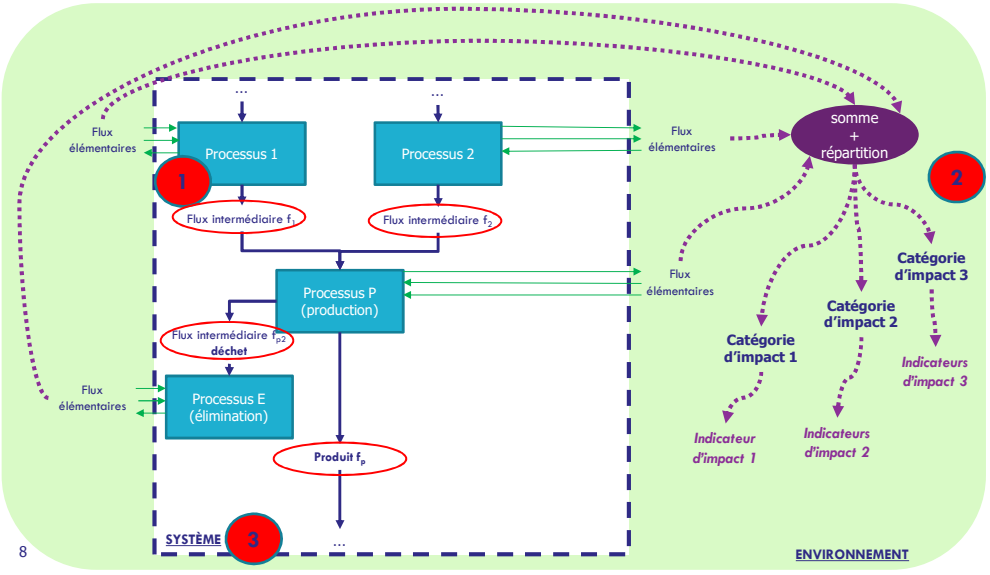


7

Université Gustave Eiffel

ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Comment ça marche ?



- Les activités des chaines de valeurs sont des **processus**
- Les rejets et prélèvements dans l'environnement sont des **flux élémentaires, ils sont générés par les processus**
- Les flux élémentaires permettent de calculer les effets sur l'environnement qui sont appelés **impacts environnementaux**

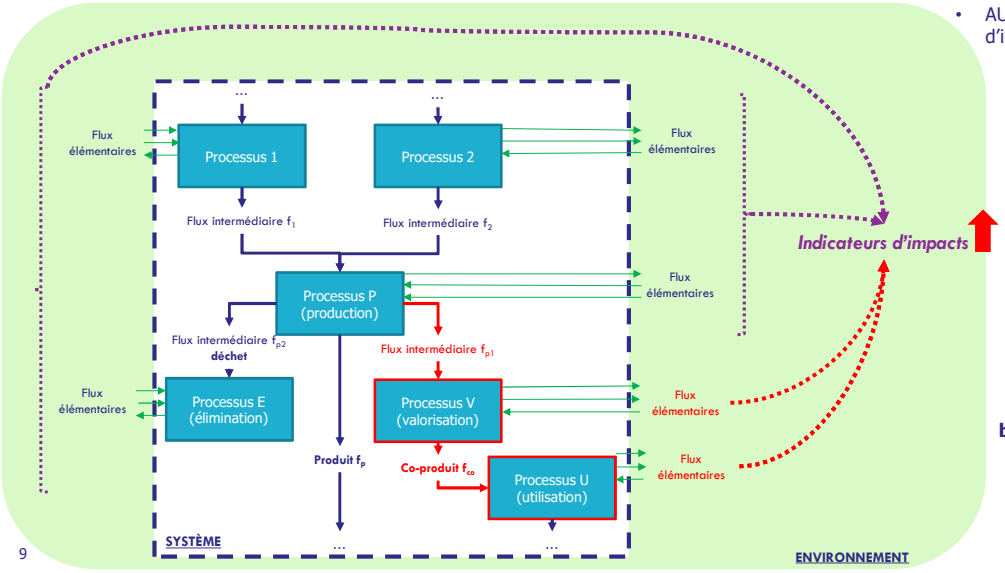
8

Université Gustave Eiffel

QUE SE PASSE-T-IL LORSQUE L'ON VALORISE UN DECHET?

Augmentation des indicateurs d'impacts

VALORISER :
- AJOUTE de nouveaux processus
- AJOUTE de nouveaux flux élémentaires
- AUGMENTE les indicateurs d'impacts



Il n'y a pas de raison évidente à attribuer un bénéfice environnemental à la valorisation

Université Gustave Eiffel

POURQUOI ASSOCIE-T-ON LA VALORISATION A DES BENEFICES ENVIRONNEMENTAUX ?

Qu'évite-t-on ? Quels bénéfices pour l'environnement ?

Non pris en compte dans l'ACV (référence = respect réglementation)

Période	Evitement	Quels flux élémentaires concernés ?	Bénéfices environnementaux potentiels	
			Quelles catégories d'impact concernées ?	Quelles aires de protection ?
Avant 1992	Décharges « sauvages »[(a)]	Substances dans les eaux et les sols	Ecotoxicité, toxicité humaine, eutrophisation	Santé humaine Ecosystèmes
	Incinérations « sauvages »[(a)]	Substances dans l'air	Ecotoxicité, toxicité humaine, ozone photochimique, changement climatique	
1992-2008	Enfouissement réglementaire	Espace occupé	Transformation et occupation des sols	Ecosystèmes
Après 2008	Produit équivalent substitué [(b)]	Tous[(b)]	Tous[(b)]	Tous[(b)]

(a) Non considéré en ACV

(b) Dépend de la substitution considérée

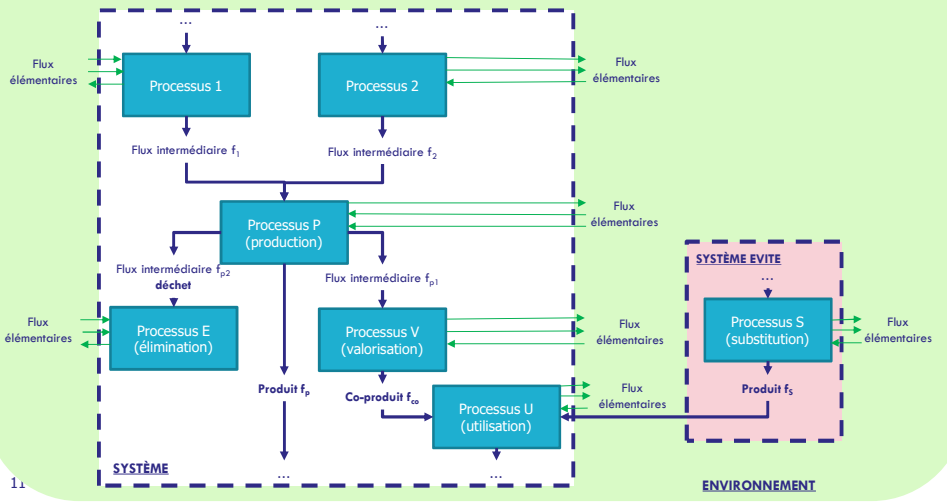
Sans lien avec le changement climatique

Ce bénéfice dépend de la substitution: la nature et la quantité de ce qui est substitué

Université Gustave Eiffel

COMMENT EST PRISE EN COMPTE LA SUBSTITUTION ?

Approche normative (module D norme EN15804 dans le secteur BTP)



Pour 1 kg de produit valorisé, on détermine :
la nature et la quantité du produit substitué selon les propriétés du produit valorisé (équivalence fonctionnelle)

On SOUSTRAIT les impacts environnementaux du système évité

11

Université Gustave Eiffel

QU'EVITE-T-ON VRAIMENT ? EXEMPLE DU RECYCLAGE DU BETON DE DEMOLITION(1)

L'intuition ou le sens commun comprend que recycler du béton c'est éviter de refaire du béton

Approche ACV normative :

- L'utilisation en **technique routière** c'est se substituer à des granulats naturels (**processus évité = carrière, pas béton**)
- L'utilisation dans le béton c'est encore se substituer à des granulats naturels (**processus évité = carrière, pas béton**)

Le bilan de la substitution est faible car carrière et recyclage utilisent sensiblement les mêmes procédés

Réalité du recyclage :

- **L'enfouissement de déchets inertes** génère peu d'impacts environnementaux, cela peut s'avérer plus intéressant que recycler, le **bilan dépend des distances de transports**
- Les granulats de béton recyclés **ne se substituent effectivement** aux granulats naturels primaires que **si la demande du marché** peut absorber à la fois les granulats naturels primaires et les granulats de béton recyclés
- Les granulats de béton recyclés se **substituent** à des **granulats** de qualité basique (**primaires**): le **processus carrière n'est pas évité** car la carrière fonctionne pour produire des granulats secondaires et tertiaires (**les granulats primaires sont des co-produits** inévitables)

Évaluer dans un contexte **technico-économique à l'échelle territoriale**

12

(1) *Mousavi, M., Ventura, A., Antheaume, N., 2020. Decision-based territorial life cycle assessment for the management of cement concrete demolition waste: Waste Manag. Res. https://doi.org/10.1177/0734242X20965676*

Université Gustave Eiffel

LA SUBSTITUTION EST UNE QUESTION FONDAMENTALE

La substitution est au cœur de toutes les approches de transition écologique

La question dépasse la seule application de la valorisation: la transition c'est vouloir substituer un système actuel par un autre pour éviter une situation existante non durable.

- Multi-impacts environnementaux
- Multi-acteurs
- Territorial
- Technico-économique

Mais l'évitement envisagé peut avoir d'autres effets indirects. Par exemple:

- Le télétravail est envisagé éviter les transports liés aux déplacements pendulaires, mais génère-t-il des surcroits de chauffage ou d'autres déplacements, génère-t-il une augmentation des usages et de la production des infrastructures du numérique ?
- Les low-tech sont envisagées pour éviter des technologies énergivores, mais faut-il multiplier les équipements ?
- Le bois et les matériaux biosourcés sont envisagées pour éviter des matériaux énergivores et des émissions de gaz à effet de serre mais le changement des usages des sols et des pratiques culturales est-il bénéfique pour le changement climatique ?
- …

Université Gustave Eiffel

ACV pour la transition

Le cadre de l'ACV normative à l'échelle produit ne permet pas d'évaluer les solutions de transition

- Ce que l'on souhaite éviter n'est pas forcément ce que l'on évite vraiment: **nécessité d'intégrer le contexte technico-socio-économique territorial**
- Les évitements peuvent être contrebalancés par des effets secondaires qui doivent être intégrés sur la base de:
  - Des liens physiques existants entre produits et coproduits
  - Des analyses de contraintes de production et de demandes de marchés
  - Des analyses comportementales pour les produits grand public
- Les acteurs et leurs possibilités d'action doivent être considérés

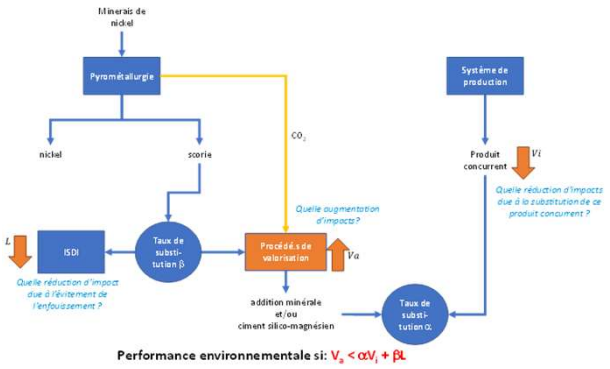
Développement d'un nouveau cadre méthodologique : l'ACV pour la Transition(1)

(1) *Ventura, A., Transition Life Cycle Assessment: a new method to face ecological transition, Frontiers in Sustainability (in revision process)*

Université Gustave Eiffel

EXEMPLE LE RECYCLGAE DES SCORIES DU NICKEL EN NOUVELLE CALEDONIE(1)

ACV normative



La substitution est basée sur l'équivalence fonctionnelle

- Performances fonctionnelles du produit valorisé

Quelle réalité pour la substitution ?

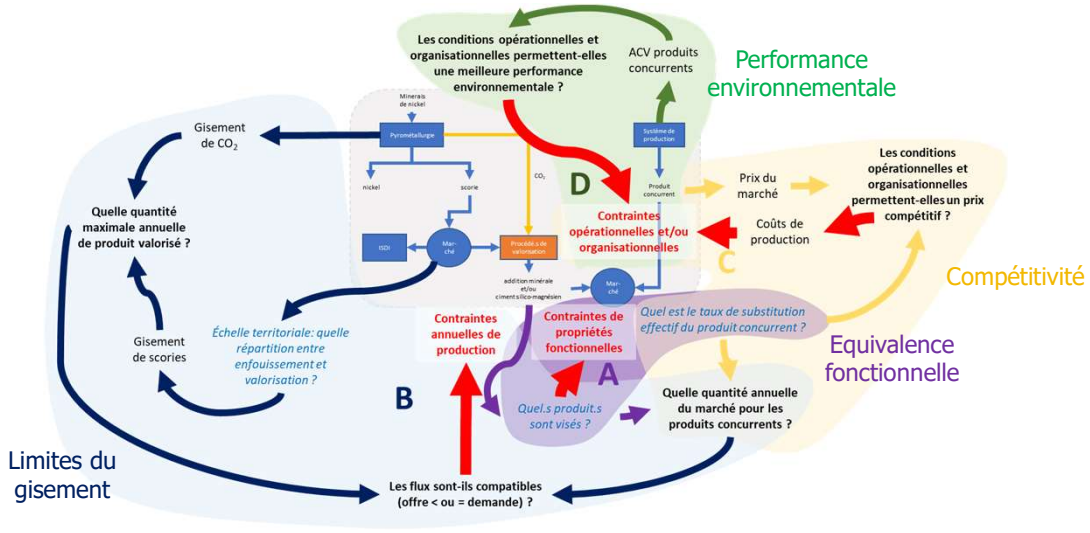
- Compétitivité du produit valorisé sur le marché visé
- Adéquation entre l'offre (gisement) et la demande (marché) : la production est contrainte par les limites du gisement
- Aspects non pris en compte dans l'ACV normative

(1) Quéheille, E., Dauvergne, M., Ventura, A., 2021. Prospective Life Cycle Assessment at Early Stage of Product Development: Application to Nickel Slag Valorization Into Cement for the Construction Sector. Front. Built Environ. 7, 130. https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.743948

Université Gustave Eiffel

ACV pour la transition

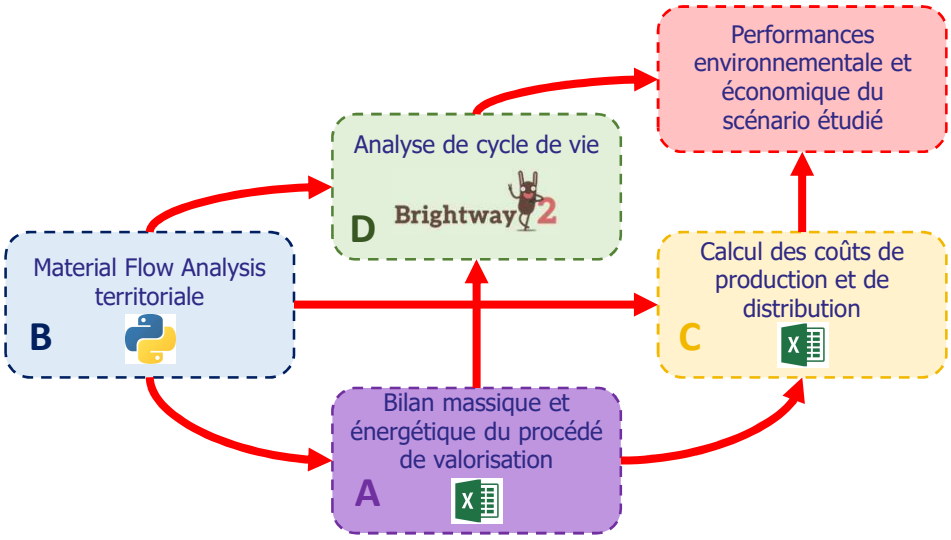
Une nouvelle démarche proposée



Université Gustave Eiffel

LES METHODES A MOBILISER

Implémentation pratique dans un modèle intégré



17

Université Gustave Eiffel

CONTRAINTES TERRITORIALES ET ORGANISATIONNELLES

Dimension prospective et territoriale

Pour construire la filière, des enjeux technologiques, énergétiques, géographiques
→ des variables de décision → des scénarios

Variable de décision	Alternatives
Site de captage du CO_2	centrale au gaz ou au charbon
Technologie de captage	fumées brutes, oxycombustion ou postcombustion
Source d'énergie pour le captage	centrale ou mix électrique de l'île
Combustible pour le séchage	gaz, fioul ou charbon
Site de calcination	local ou Japon
Combustible pour la calcination	gaz, fioul ou charbon
Marché	Nouvelle-Calédonie, Australie, Japon

+ Contraintes régionales & techniques

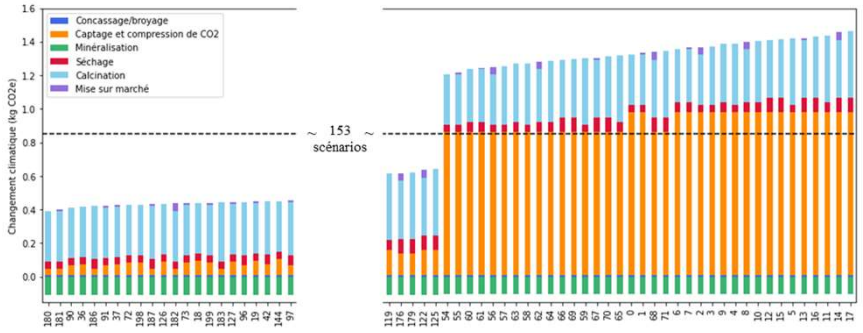
= des centaines de scénarios à évaluer

18

Université Gustave Eiffel

RESULTATS: SCENARIOS PREFERENTIELS POUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Evaluation de la filière sur un ensemble d'indicateurs ACV



Ciment Portland actuel

Identification des scénarios préférentiels pour l'organisation de la filière
(e.g. éviter le captage du CO_2 à partir de fumées brutes, privilégier le gaz comme combustible)

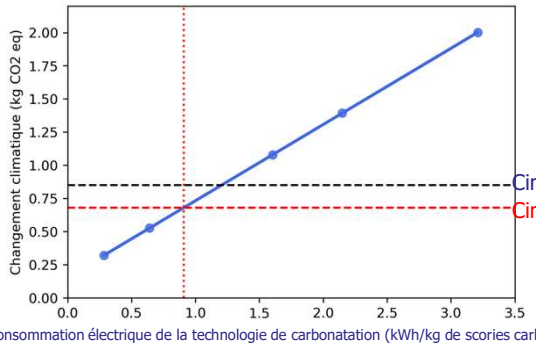
A compléter avec le calcul des coûts

(1) Quéheille, E., Dauvergne, M., Ventura, A., 2021. Prospective Life Cycle Assessment at Early Stage of Product Development: Application to Nickel Slag Valorization Into Cement for the Construction Sector. Front. Built Environ. 7, 130. https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.743948

Université Gustave Eiffel

ANALYSE DE SENSIBILITÉ SUR DES PARAMÈTRES CONTRÔLABLES

Consommation électrique de la carbonatation



Ciment Portland actuel
Ciment Portland futur

Identification des contraintes opérationnelles de la technologie
(e.g. réduire la consommation d'un facteur 3 par rapport aux valeurs actuelles de laboratoire)

Atteindre cette cible sur la poursuite du développement de la technologie

Université Gustave Eiffel

CONCLUSION

La transition c'est aussi changer la façon de faire et d'utiliser l'ACV

- L'ACV de transition permet:
  - De s'assurer d'améliorations environnementales de solutions de substitution par rapport à l'existant
  - De tenir compte des effets indirects
  - De tenir compte des effets de masse

- Cela change la façon de faire et d'utiliser l'ACV
  - On la mène dès amont des recherches pour dresser des pistes de développement
  - Cela nécessite de nombreuses interactions entre disciplines
  - On introduit une complexification progressive

- Recherches en cours
  - Fiabilisation de la démarche: application à différents cas
  - Couplages avec outils existants
  - Développement de données, de modèles et d'outils libres et utilisables

Université Gustave Eiffel

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Anne Ventura
anne.ventura@univ-eiffel.fr

Université Gustave Eiffel