



Congrès
Management
du Cycle de Vie
2025



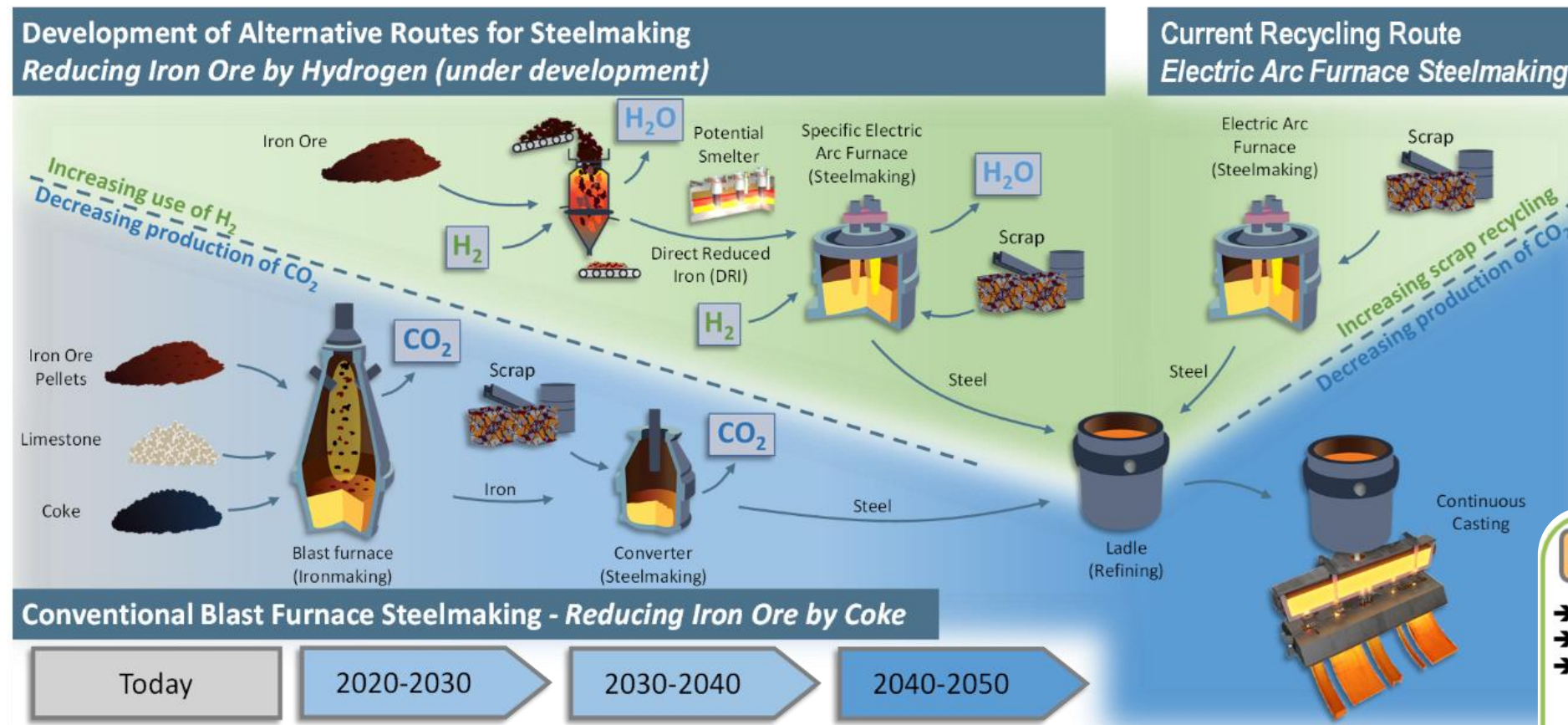
De la nécessité d'inclure la phase d'utilisation dans une optique d'éco-conception : le cas des matériaux réfractaires pour la production d'acier

Sarah Badioli^{a,b}, Thibault Champion^b, Marielle Dargaud^b, Angélique Léonard^a

^aUniversity of Liège, BE ^bSaint-Gobain Research Provence, FR



Concerted European action on Sustainable Applications of REFractories



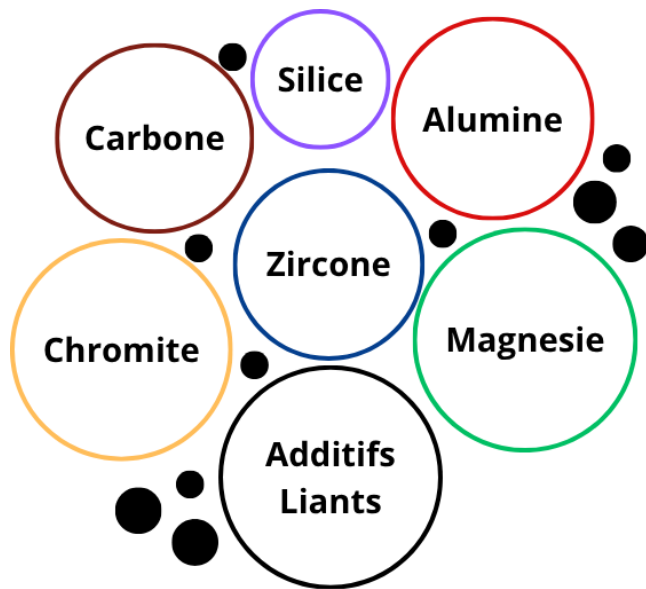
Efficient use of mineral resources and recycling

- Reliable LCA inventories related to extraction/production
- Recycling routes / associated environmental impacts
- Whole environmental footprint



Les réfractaires


- Matériaux céramiques élaborés pour maintenir leurs propriétés mécaniques et chimiques sous températures élevées et sollicitations extrêmes.
- Qualifiés de “colonne vertébrale de l’industrie”, ils sont indispensables aux procédés à haute température utilisés dans divers secteurs: sidérurgie, ciment, verre, énergie, etc.
 - Fonction principale : revêtements intérieurs des fours et réacteurs



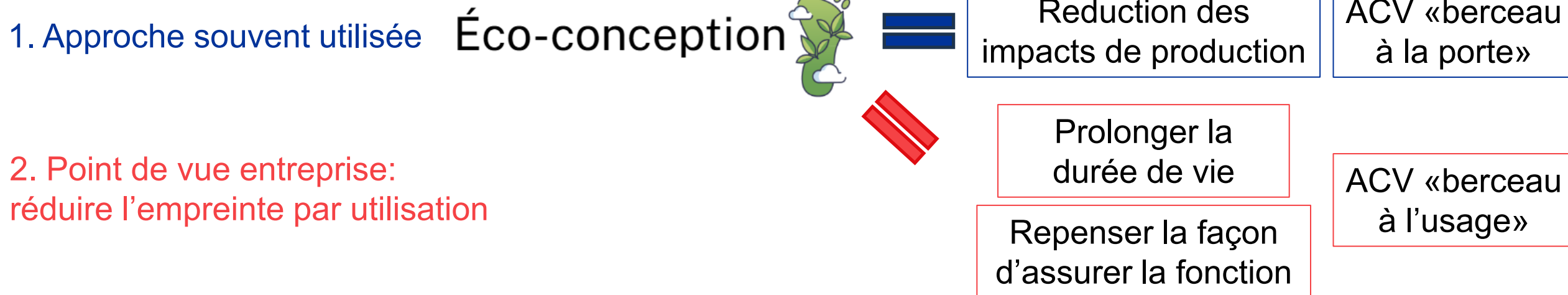
https://www.ceramicsrefractories.saint-gobain.com/case-studies/blast-furnace-refractory-supply-and-installation-supervision?utm_source=chatgpt.com/

Formulation du problème de recherche

Produit — Fonction —> Application

Éco-conception 

Formulation du problème de recherche



2. Point de vue entreprise:
réduire l'empreinte par utilisation

- ?
- Comparaison de deux revêtements réfractaires aux propriétés distinctes pour une même application.
 - Mise en place d'une méthodologie pour inclure la phase d'usage dans une ACV.
 - Une seule étude publiée sur les réfractaires (Boenzi, 2022)

Cas d'étude

- Comparer 2 revêtements réfractaires pour la même application dans un four sidérurgique.
 - Différences: composition, procédé de fabrication et leurs performances techniques.

Berceau à la porte



Impacts de production & contribution matières premières

Unité de référence: 1 tonne brique

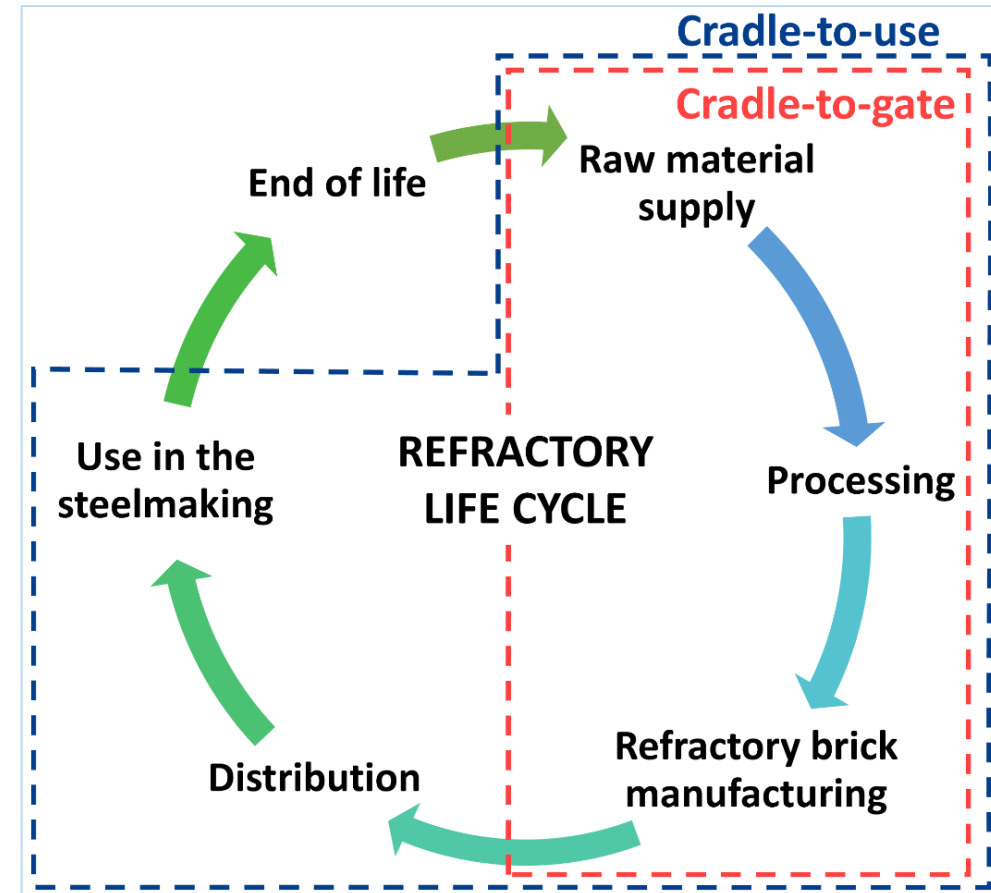
Berceau à l'usage



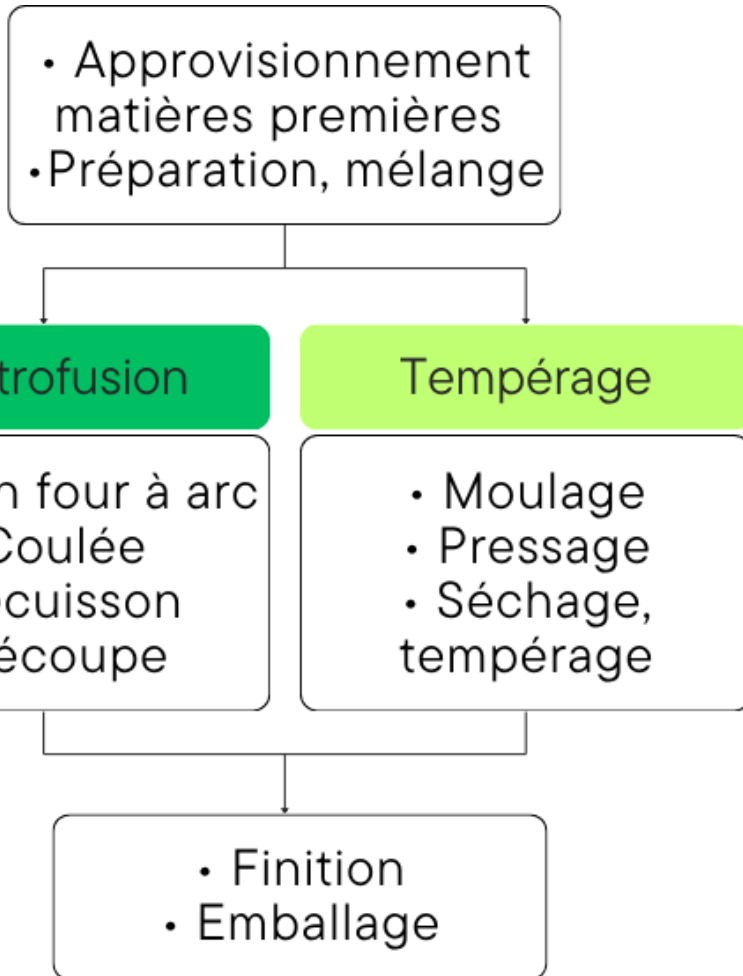
Performance technique

Unité fonctionnelle: 1 tonne acier

ACV attributionnelle; Simple cut-off; EF3.1.
Sphera's LCA for Expert software; Ecoinvent 3.9.1.



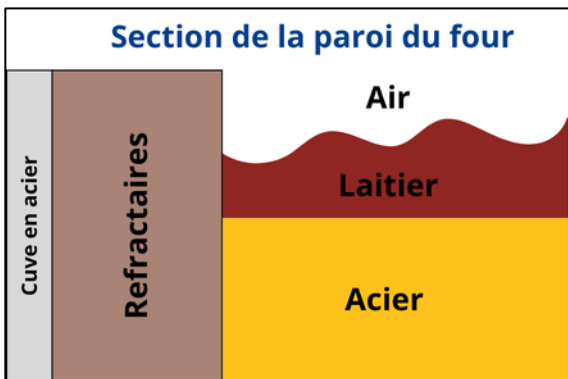
ACV berceau à la porte : système produit



	Brique MC (magnésie-carbone)	Brique A (high-alumina)
Matière première principale	Magnésie fondue	Alumine calcinée
Composition	85% magnésie, 10% graphite, 2% résine phénolique 3% aluminium	95% alumine, 5% additifs
Origine matières premières	CN	CN
Lieu de production	CN	CN
Source d'énergie principale	Gaz naturel	Electricité (mix national)
Temp. traitement	~250°C	>2000°C

Challenges:

1. Standardisation des conditions pour un four à configuration variable et usure complexe.
2. Modélisation basée sur des propriétés du produit quantifiables dès la conception.



ACV berceau à l'usage – modélisation

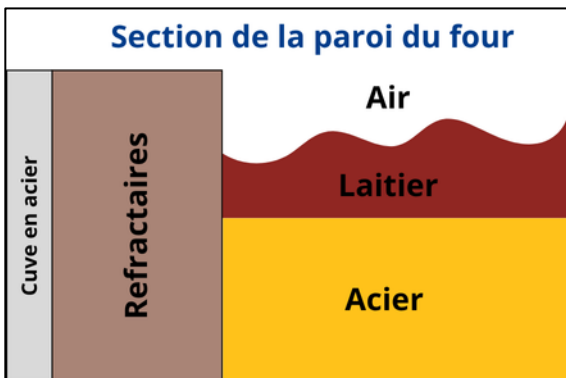
Challenges:

1. Standardisation des conditions pour un four à configuration variable et usure complexe.
2. Modélisation basée sur des propriétés du produit quantifiables dès la conception.

Hypothèses:

- Paramètres opérationnels issues d'un cas réel pour la MC et imposés à la brique A.
- Même taux de corrosion en benchmark.
- Conditions opératoires du four identiques.
- Production CN, usage EU.

$$\text{Impact}_i \left[\frac{X}{\text{tonne acier}} \right] = \left(\text{Impact approx. réfr.}_i \left[\frac{X}{\text{tonne réfr.}} \right] + \text{Impact usage}_i \left[\frac{X}{\text{tonne réfr.}} \right] \right) * \text{consommation réfr.} \left[\frac{\text{tonne réfr.}}{\text{tonne acier}} \right]$$



Production + transport

- ACV du berceau à la porte
- Chaîne d'approvisionnement

émissions directes + influence sur le fonctionnement du four

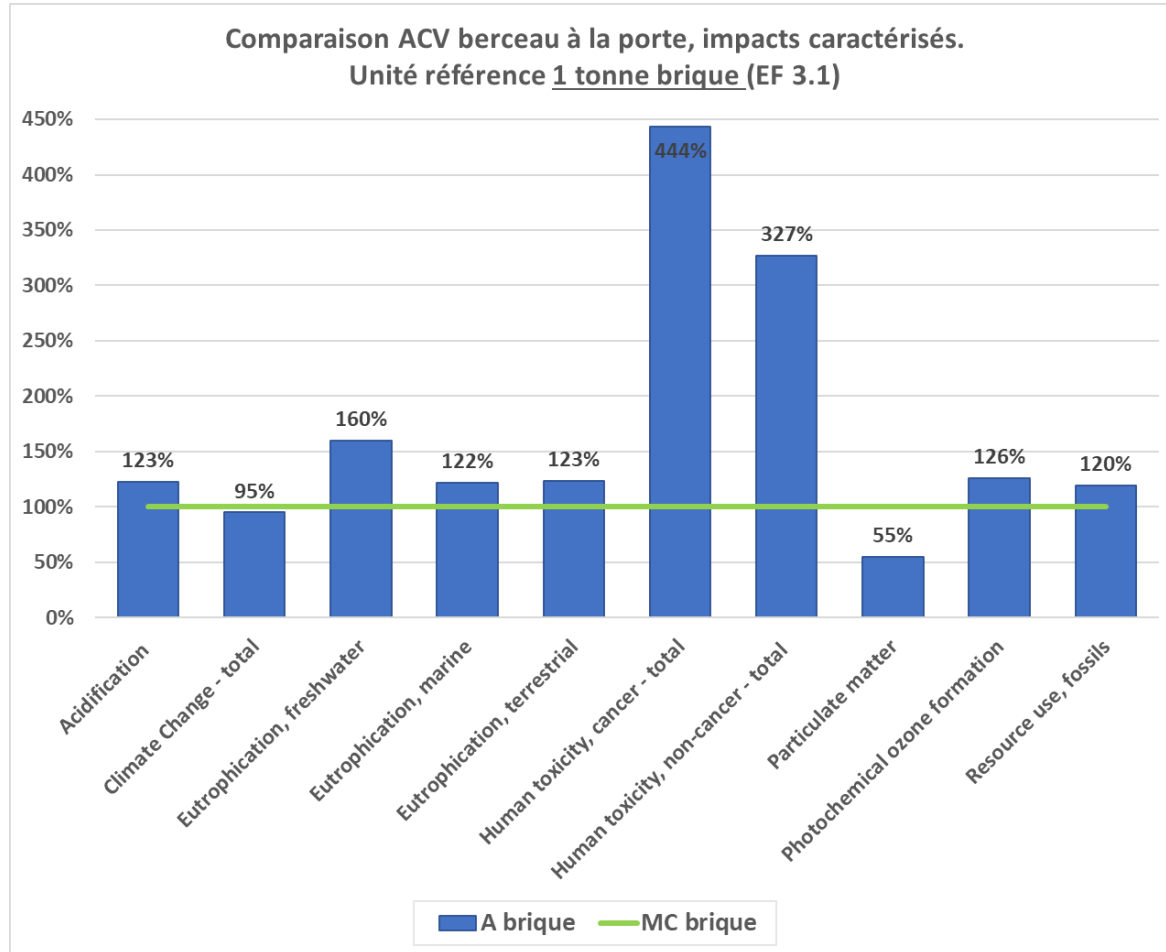
- Composition du réfractaire
- Conditions de fonctionnement

Fonction: isolation

- Modèle : conduction thermique à travers la paroi du four.
- Durée de vie : principal mécanisme d'usure et performance du matériau (résistance à la corrosion)

Comparaison des résultats

« berceau à la porte » vs « berceau à l'usage »

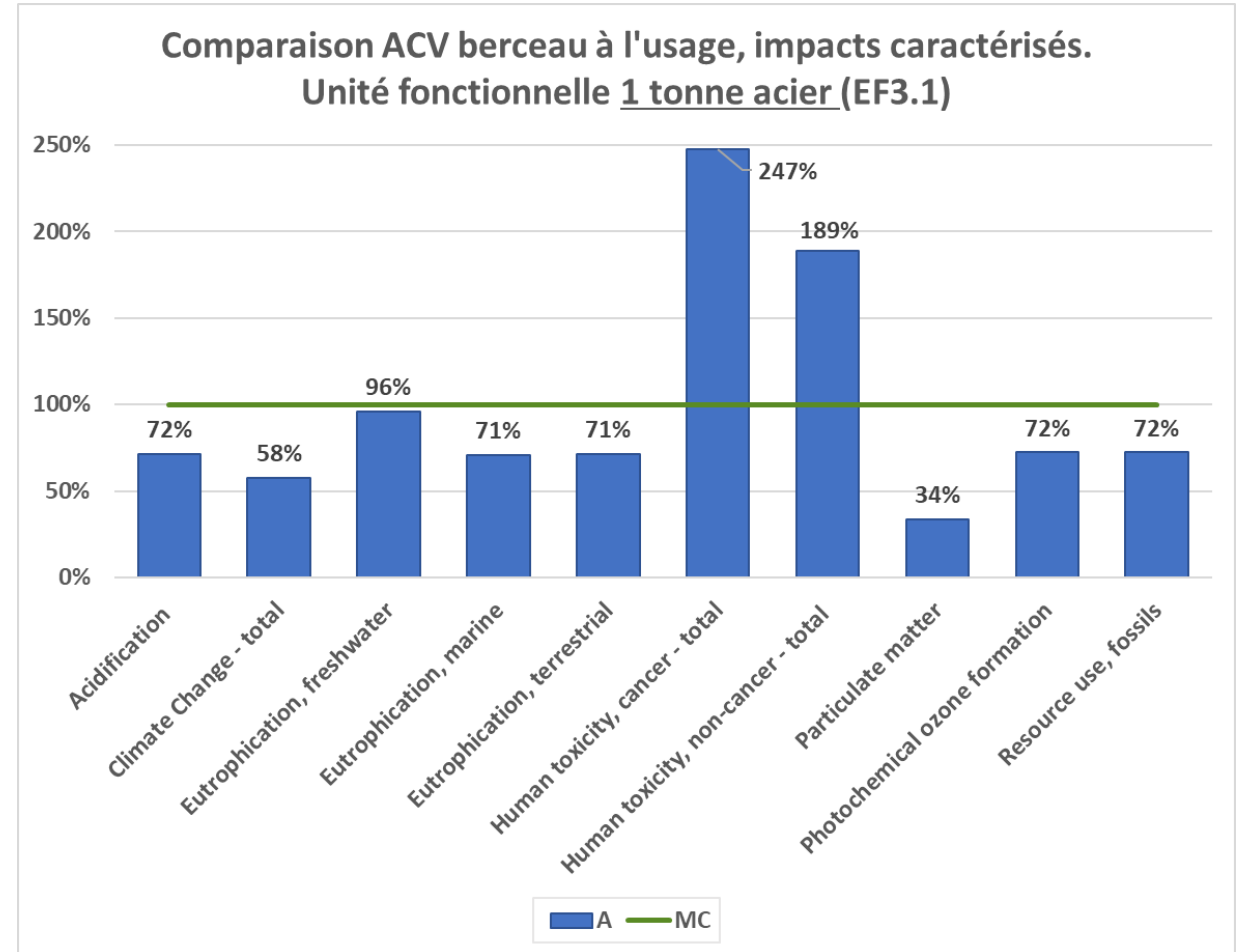


Performance globale de la production comparable.

Score unique (pt.)

MC: 0,512

A: 0,519



-39% d'impacts pondérés pour la brique A.

Score unique (pt.)

MC: 1,4E-04

A: 8,6E-05

Comparaison des résultats

« berceau à la porte » vs « berceau à l'usage »

ACV berceau à la porte:

- Différences significatives sur les impacts caractérisés : eutrophisation eau douce, particules fines.
 - Autres variations inférieures au seuil de signification
- Toxicité élevée est typique des produits en alumine, en raison du procédé Bayer (gestion des boues rouges).
- Emissions de CO₂ et particules fines sont typiques de la magnésie fondue.

Catégories d'impacts significatives (approche EF, >80 % du score unique)

MC	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Changement climatique ➤ Particules fines 	
High-A	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Epuisement ress. fossiles ➤ Acidification 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eutrophisation ➤ Formation ozone photoch.

Procédés hotspot

MC	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Production magnésie fondue (~70%) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Electricité pour la fusion
High-A	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Électricité (~51%) ➤ Production alumine calcinée (~34%)

Comparaison des résultats

« berceau à la porte » vs « berceau à l'usage »

ACV berceau à la porte:

- Différences significatives sur les impacts caractérisés : eutrophisation eau douce, particules fines.
 - Autres variations inférieures au seuil de signification
- Toxicité élevée est typique des produits en alumine, en raison du procédé Bayer (gestion des boues rouges).
- Emissions de CO₂ et particules fines sont typiques de la magnésie fondue.

ACV berceau à l'usage:

- Différences significatives : particules fines, changement climatique.
 - Variations presque aux seuils significatifs pour la majorité des impacts.
- Meilleure performance technique de la brique A = distribution des impacts sur une durée de vie prolongée.
- Catégories d'impacts significatives identiques au calcul du berceau à la porte.
 - Contribution limitée du transport (~6%).

Catégories d'impacts significatives (approche EF, >80 % du score unique)

MC	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Changement climatique ➤ Particules fines 	
High-A	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Epuisement ress. fossiles ➤ Acidification 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eutrophisation ➤ Formation ozone photoch.

Procédés hotspot

MC	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Production magnésie fondue (~70%) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Electricité pour la fusion
High-A	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Électricité (~51%) ➤ Production alumine calcinée (~34%)

Conclusions

Performance environnementale des réfractaires

- La brique en alumine montre meilleure performance en incluant la phase d'usage grâce à ses propriétés techniques et sa durée de vie prolongée.
- Hotspot principal: production d'électricité pour fondre la magnésite en MC & les briques en A.
- Catégories d'impacts significatives: changement climatique, particules fines, consommation ress. fossiles, acidification.

Considérations sur la méthodologie

- Comparaison des impacts «berceau à la porte» et «berceau à l'usage» diffère.
- Pour limiter les incertitudes et garantir comparabilité, les données des deux briques doivent être issues de sources compatibles.
- Les analyses de scénarios et sensibilité permettent d'estimer l'effet des approximations et incertitudes sur les résultats.
- La vitesse de corrosion est le facteur clé dans la pondération des impacts associés à la phase d'usage.

- ACV « berceau à la porte » ne suffit pas pour comparer les impacts des produits destinés à une même application. La perspective « cycle de vie » est nécessaire.
- Lier l'ACV et la phase d'usage aux propriétés des matériaux permet d'estimer les impacts environnementaux dès la conception du produit.



Acknowledgments: This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation program under grant agreement no.101072625



Sarah.Badioli@uliege.be

www.cesaref.eu