

3. ACV et enjeux pour les matériaux de la transition énergétique

Carole Charbuillet

carole.charbuillet@ensam.eu

Edouard Millet

Edouard.millet@ensam.eu

Tatiana Reyes

Tatiana.reyes@ensam.eu

16/05/2024

ARTS
ET MÉTIERS

ECO
**CONCEVOIR
DEMAIN**

ēdlb⁺
L'école de la batterie



Sommes-nous en capacité d'assurer les transitions nécessaires ?

14/03 : 1. Quels matériaux pour quels systèmes : vers un monde plus électrique
Moteur électrique S.Clenet – N.Perry

11/04 : 2. Les Flux de Matières, criticité des ressources et économie circulaire
Batterie électrique T.Bauer – N.Perry

16/05 : 3. Matériaux pour la transition et évaluation en ACV(s)
Véhicule électrique C.Charbuillet – E.Millet-
T.Reyes

Sommaire

- I. Qu'est-ce que l'ACV?
- II. ACV et véhicules électriques
- III. Bilan
- IV. Changement d'échelle



Pourquoi ce webinaire?

TRANSITIONS

=

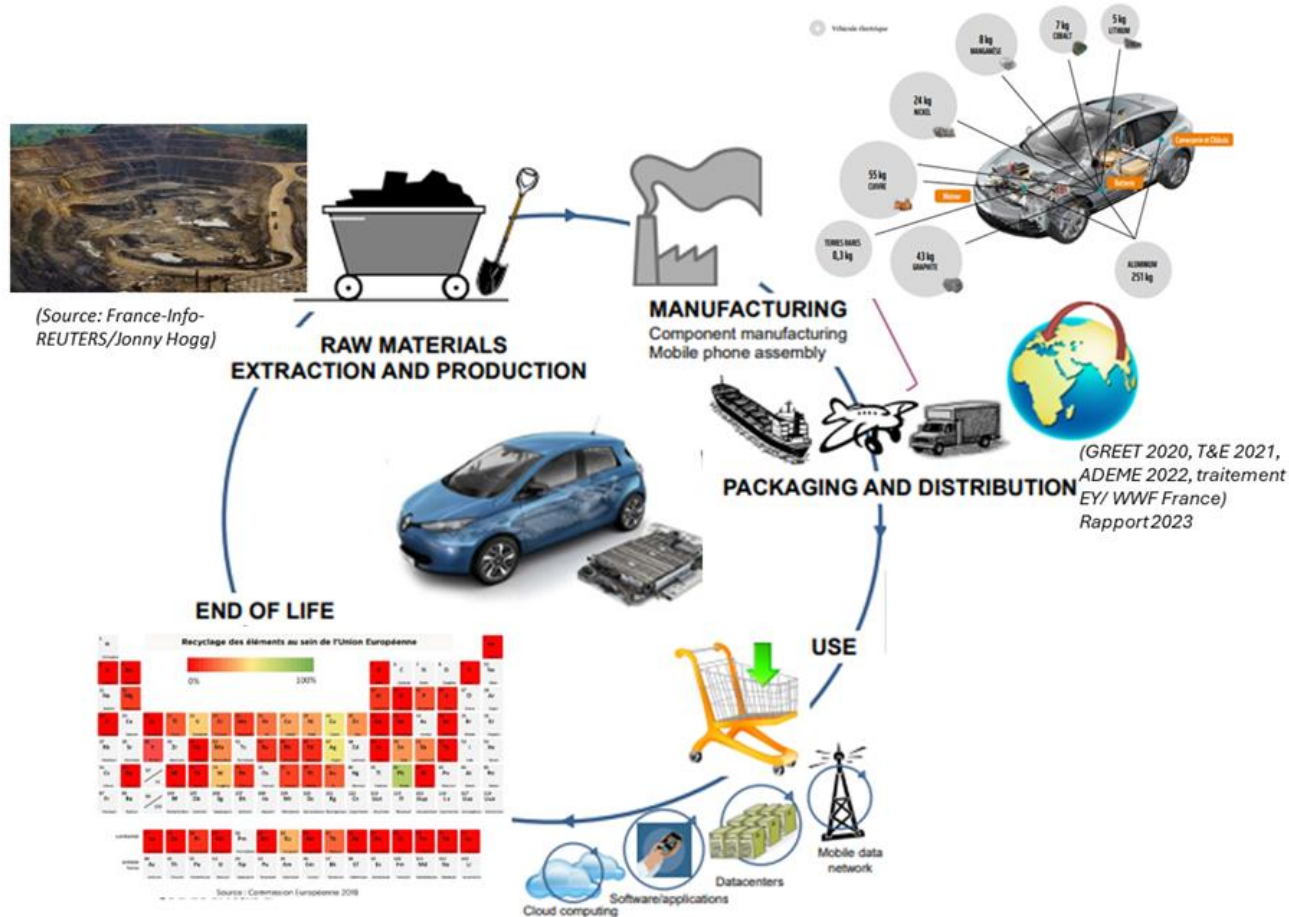
+ D'ÉNERGIES
ÉLECTRIQUES

=

BESOINS EN
RESSOURCES

=

TRANSFERTS
D'IMPACTS ?



Pourquoi ce webinar ?

Enjeux techniques et économiques:
Répondre à une demande croissante

Enjeux sociétaux:

- Conditions d'extraction
- Usage des territoires
- Impacts paysager, visuel et acceptabilité sociale

TRANSITIONS

=

+ D'ÉNERGIES
ÉLECTRIQUES

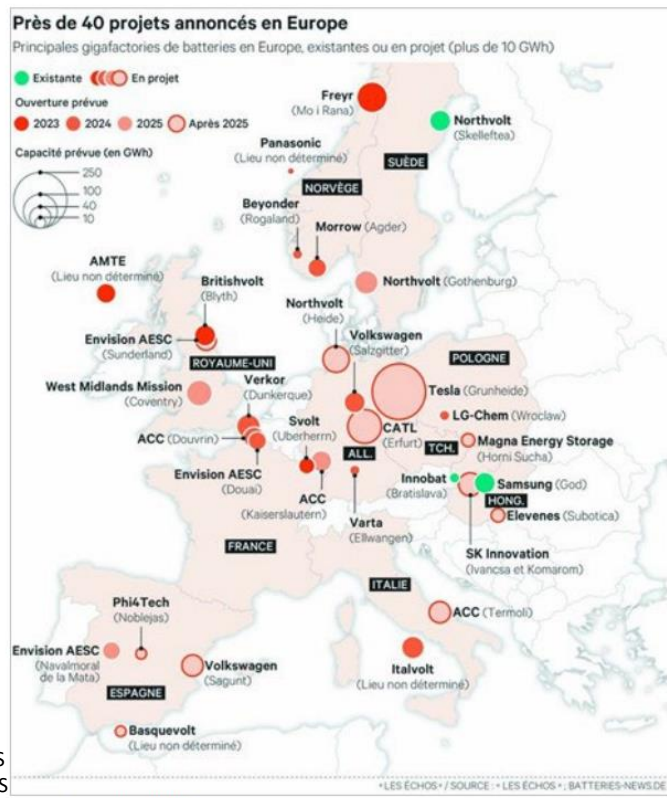
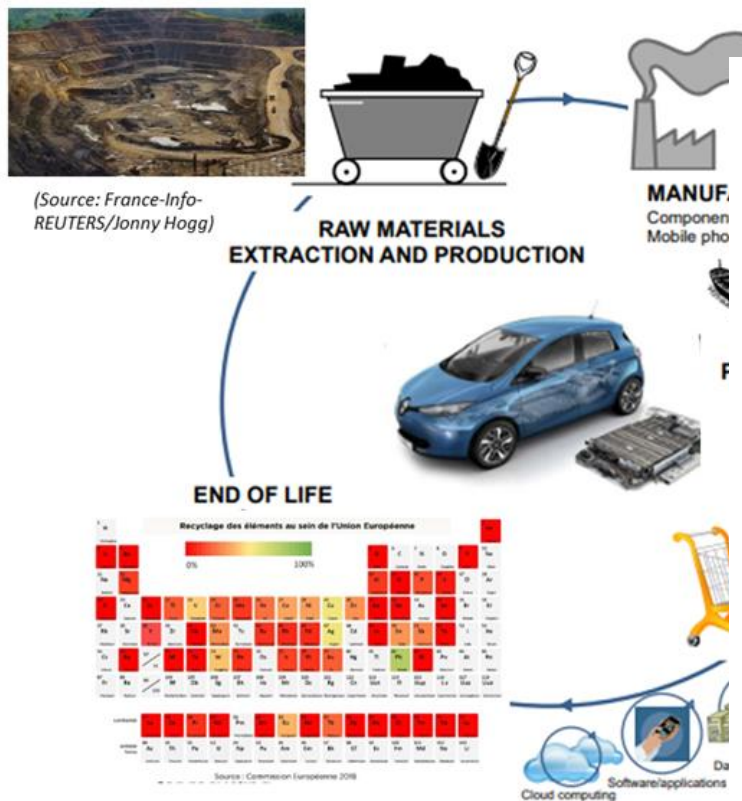
=

BESOINS EN
RESSOURCES

=

TRANSFERTS
D'IMPACTS ?

C.Charbuillet



(LES RESSOURCES MINÉRALES CRITIQUES POUR LES ÉNERGIES BAS-CARBONE : CHAÎNES DE VALEUR, RISQUES ET POLITIQUES PUBLIQUES- CGDD 2023)

Pourquoi ce webinar?

TRANSITIONS

=

+ D'ÉNERGIES
ÉLECTRIQUES

=

BESOINS EN
RESSOURCES

=

TRANSFERTS
D'IMPACTS ?

C.Charbuillet

- Enjeux techniques et économiques
- Répondre à une demande croissante



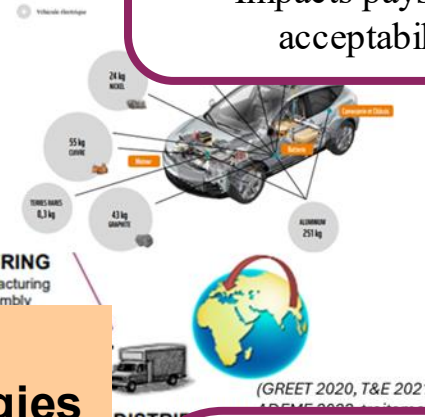
(Source: France-Info-REUTERS/Jonny Hogg)



RAW MATERIALS



MANUFACTURING
Component manufacturing
Mobile phone assembly



L'ACV comme outil d'évaluation des stratégies d'économie circulaire?

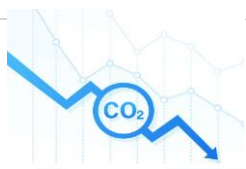


- Enjeux environnementaux:
- Ressources
 - Transfert d'impacts
 - Faible taux recyclage
 - Faible circularité

- Enjeux sociétaux:
- Conditions d'extraction
 - Usage des territoires
 - Impacts paysager, visuel et acceptabilité sociale

- Enjeux réglementaires:
- CMR Act
 - Stratégie Bas carbone
 - Loi n° 2019-1428 du 24 d'orientation des mobilités
 - Proposition de directive européenne sur les exigences de circularité pour la conception des véhicules et la gestion de leur fin de vie (2023)

Stratégie de transition énergétique et environnement

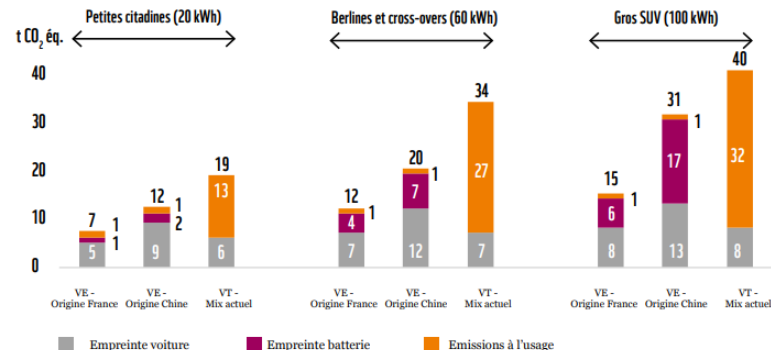


Objectif: Réduction des émissions CO2 et réduction usage énergie non renouvelable

Solution: Véhicule électrique, PV...

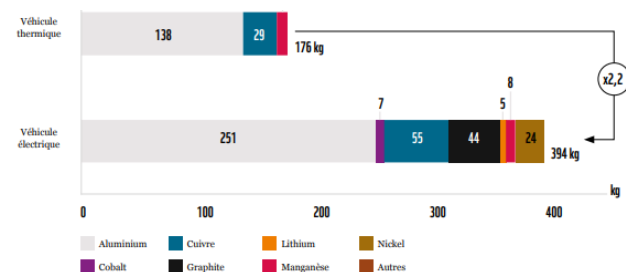
Oui Mais...

↳ Des émissions de CO₂: réduction f(phase de vie)



(SGPE 2023, traitement EY/WWF France) Métaux critiques-WWF 2023

Kilométrage moyen retenu 200 000 km



(GREET 2020, IEA 2021, T&E 2021, ADEME 2022, traitement EY/WWF France) Métaux critiques-WWF 2023

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

Nécessité de lier les stratégies entre elles
 (Mix de scénarios)
 Vision multi-impacts?
 Changement d'échelle?

L'Analyse de Cycle de Vie: un méthode normée multi-étapes, multi-critères...

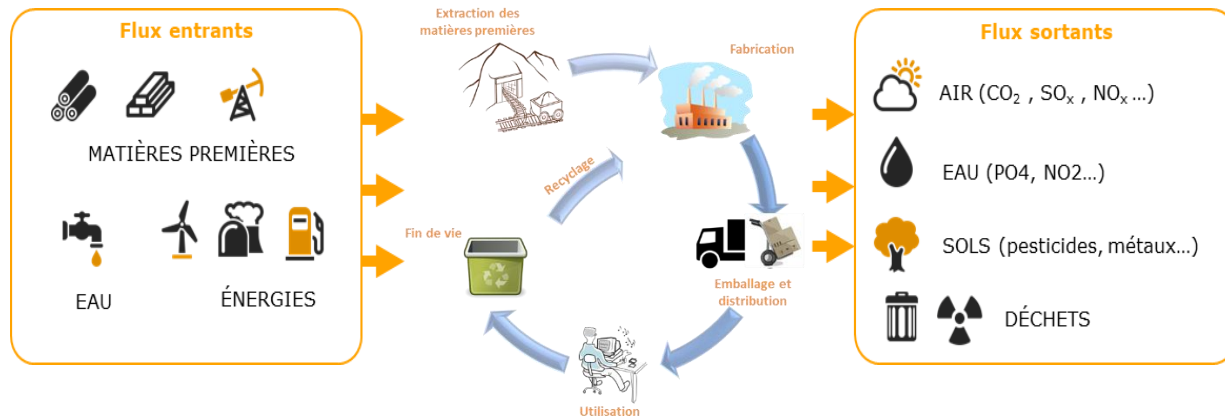
I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

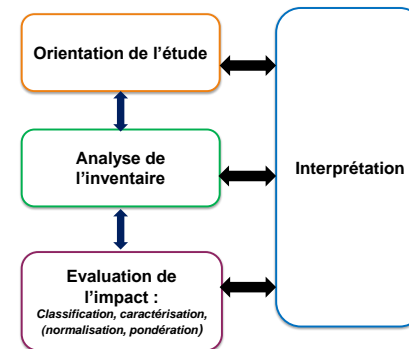
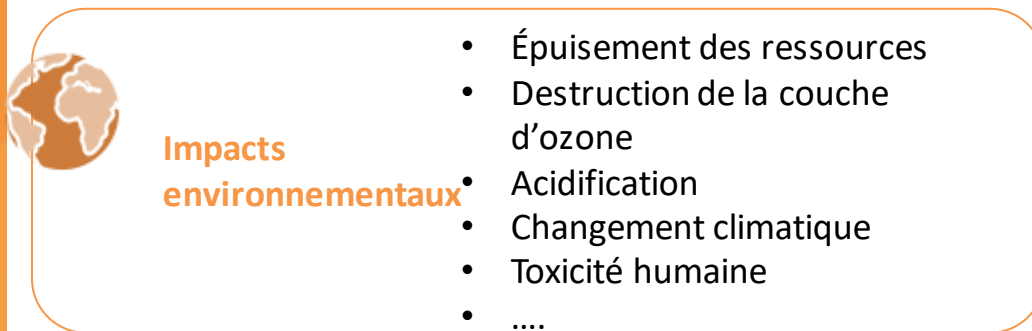
III. Bilan

IV. Changement d'échelle

C.Charbuillet



ACV (ISO 14040)



L'Analyse de Cycle de Vie: un méthode normée multi-étapes, multi-critères...

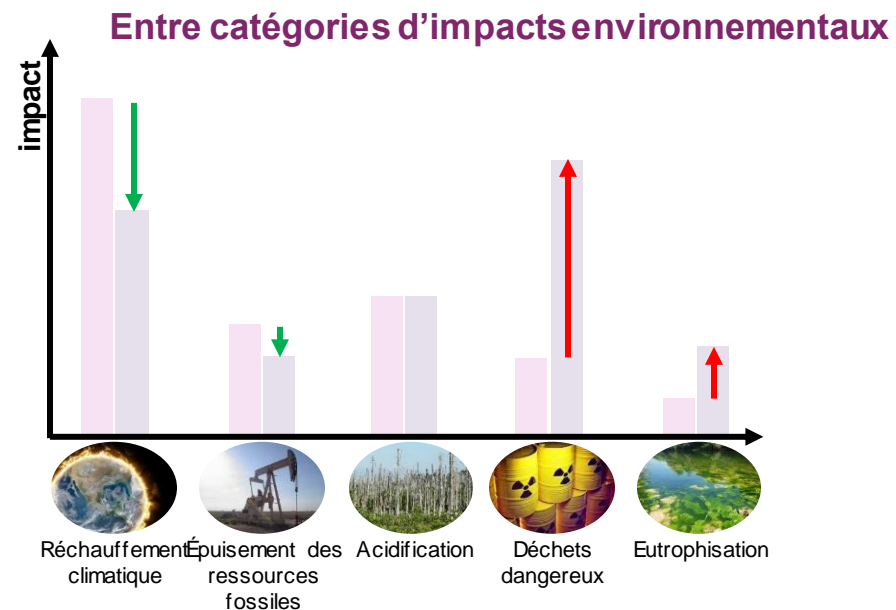
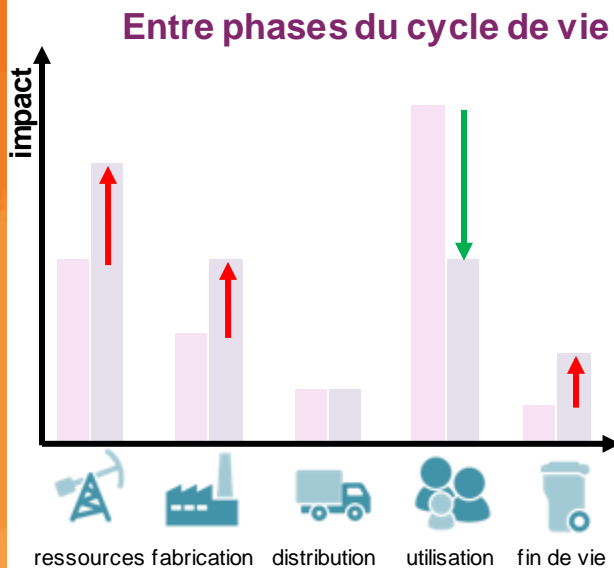
- Une **approche systémique** pour **éviter les transferts d'impact**

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle



Solution A

Solution B

Adapté de J.Jusselme 2023

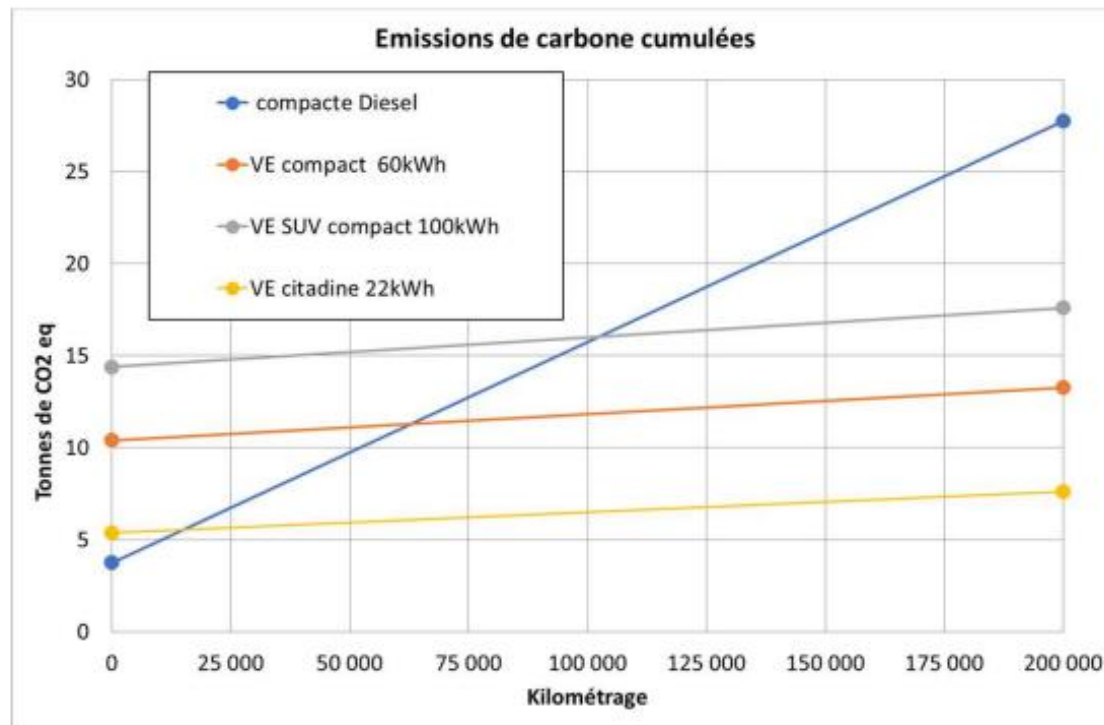
Un impact qui dépend du scénario d'usage

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle



D.Cornet Quelle place aux véhicules électriques dans une stratégie de neutralité carbone en 2050 ? ADEME-2023

Limite: scénario d'usage, batterie, taille véhicule



Exemple groupes motopropulseurs voitures et bus

Potential impacts of one person transportation over one km for worldwide harmonised light vehicles test procedure (WLTP) cycle for midsize cars, present time, French and European electricity mixes

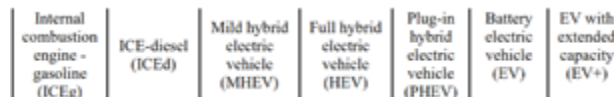
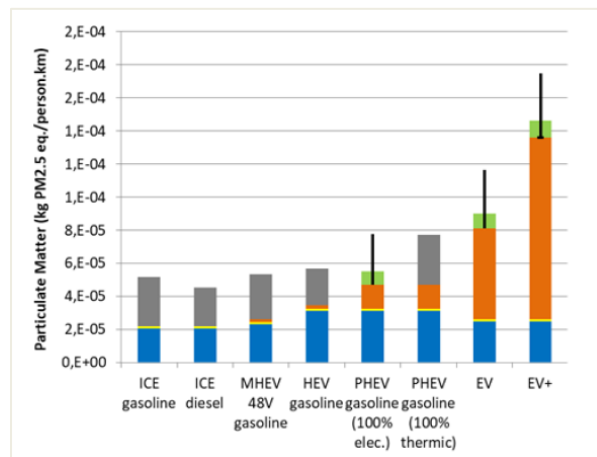
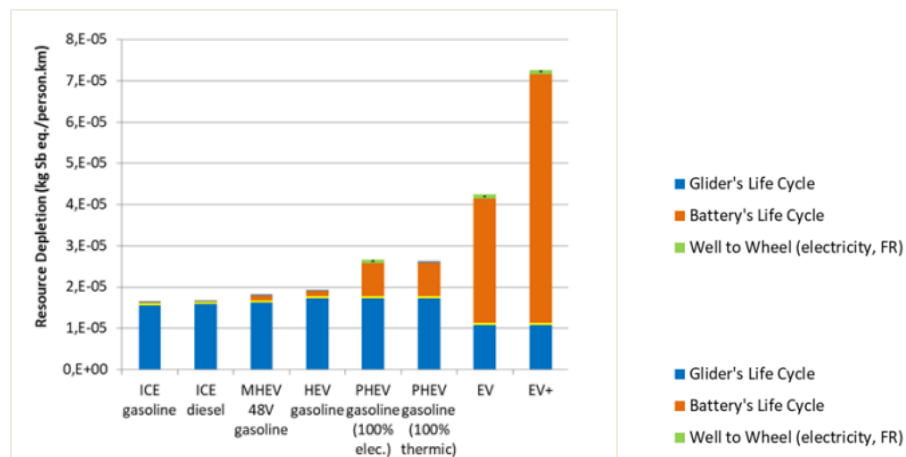
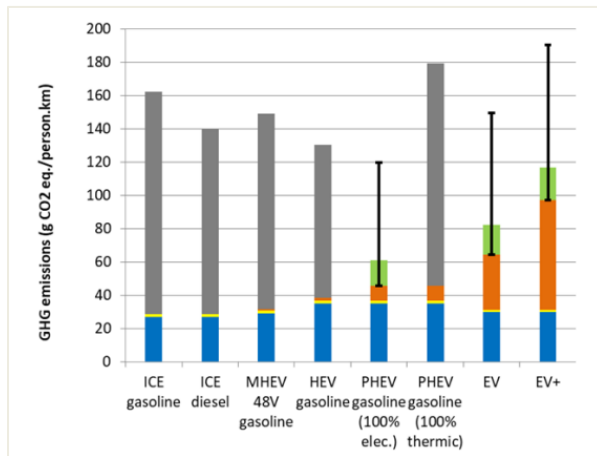
I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

C.Charbuillet



Anne Bouter, Emmanuel Hache, Cyprien Temel, Sandra Beauchet. Comparative environmental life cycle assessment of several powertrain types for cars and buses in France for two driving cycles: "worldwide harmonized light vehicle test procedure" cycle and urban cycle. International Journal of Life Cycle Assessment, 2020, 25 (8), pp.1545-1565.



Limite: étude mono-critère, localisation géographique

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

C.Charbuillet

Les batteries Li-Ion- a review

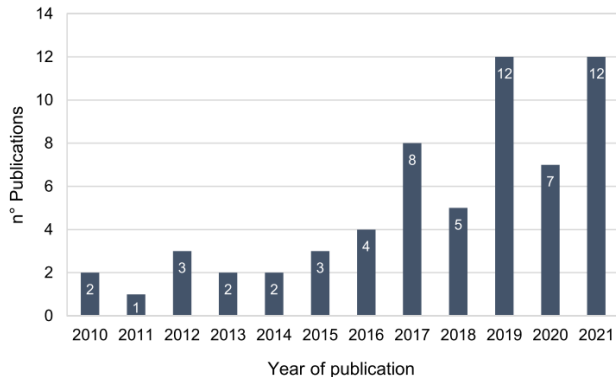


Fig. 1. Number of studies reviewed by publication year.

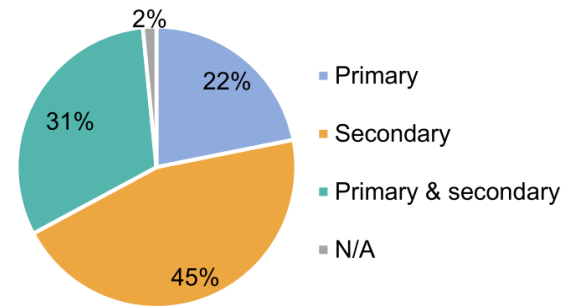


Fig. 2. Data types for foreground inventories among studies reviewed.

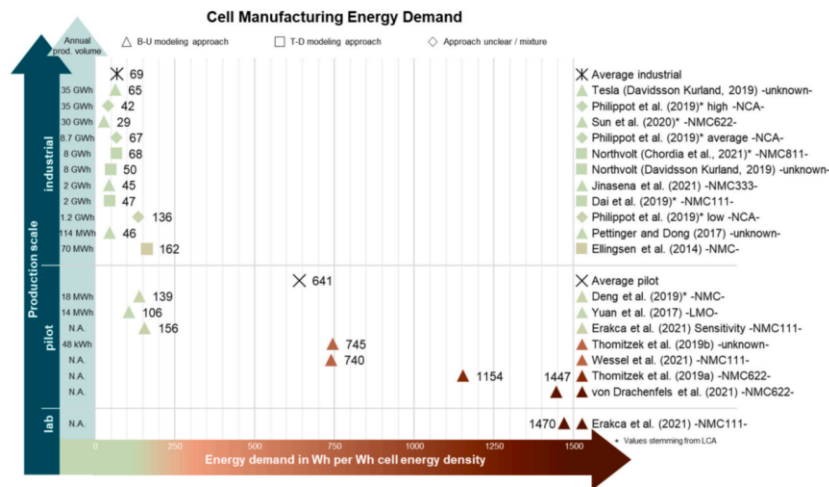


Fig. 6. Cell manufacturing energy demand in Wh per Wh cell energy storage capacities for different studies on varying production scales.

Limite: vision cradle-to-gate et gate-to-gate, échelle de la technologie,

La phase de vie souvent non prise en compte par manque de données disponibles.

Manque de transparence sur les données

ACV et épuisement des ressources métalliques

Prise en compte des flux dissipatifs de ressources minérales

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

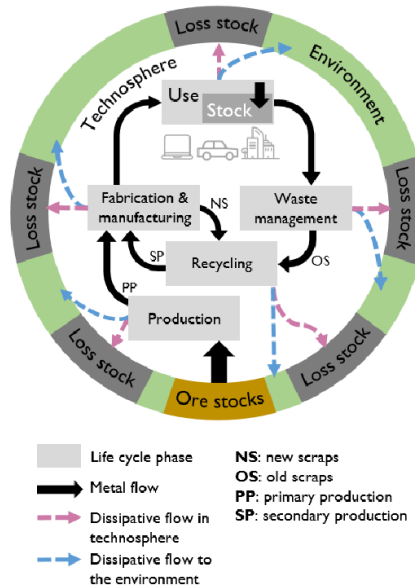


Figure 5-1. Anthropogenic cycle of mineral resources from the geological stock to temporary or final stocks and sinks through main life cycle phases and their corresponding dissipative flows (adapted from Figure 4-1).

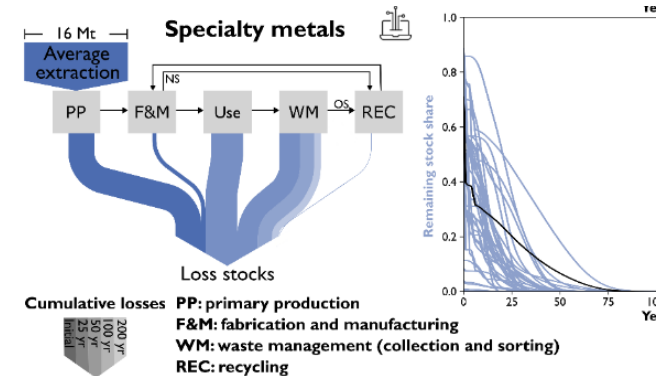


Figure 4-5. Predicted in-use stocks and losses of metals over two centuries.

Adaptation de l'indicateur épuisement des ressources

Facteurs de caractérisation intégrant la dissipation des métaux

(Charpentier, Thèse, *Prise en compte de la dissipation de ressources minérales en analyse du cycle de vie : amélioration des concepts et développement de méthodes d'évaluation d'impact pour 61 métaux- 2021*)

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

Faible prise en compte des impacts de la fin de vie

Evolution rapide des technologies

Transfert d'impact

Accessibilité des données

Vision monophasé, monocritère

Données primaires de fabrication et de fin de vie

Effet Rebond

Durée de vie

Facteur d'échelle: multiplication des usages

Ajouter à l'ACV des notions de:

- de temps
- d'économie
- d'impacts sociaux
- de scénarios prospectifs

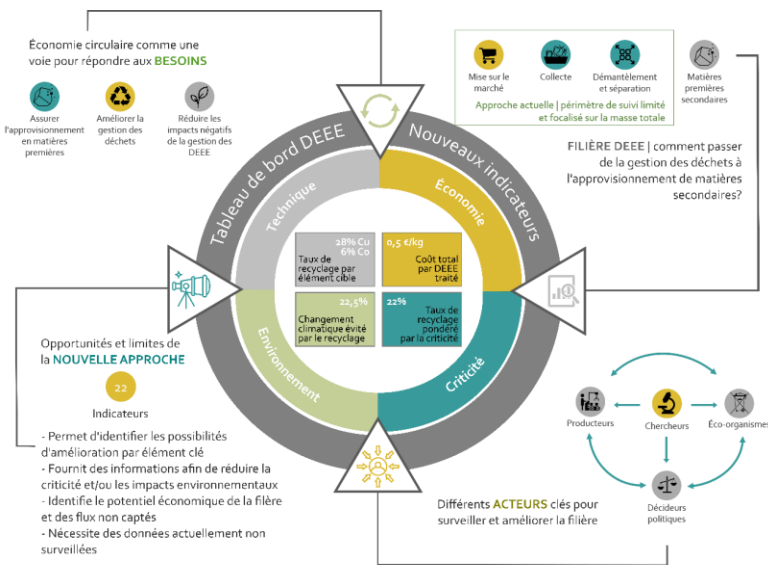
I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

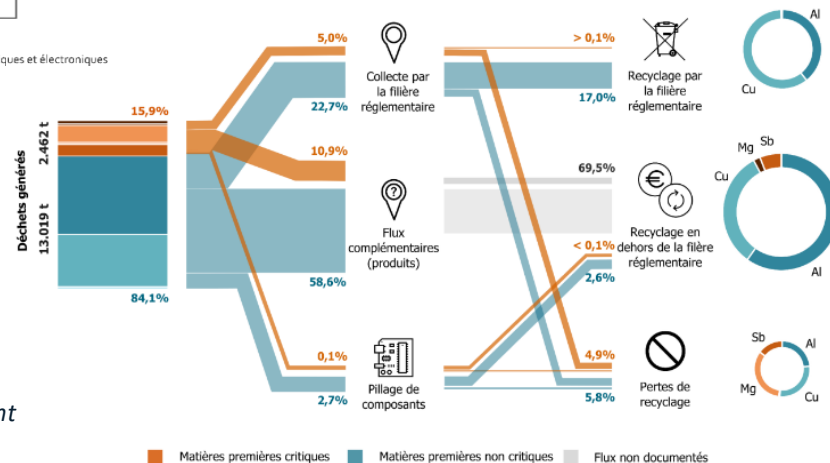
III. Bilan

IV. Changement d'échelle

C.Charbuillet



*DEEE | Déchets d'équipements électriques et électroniques



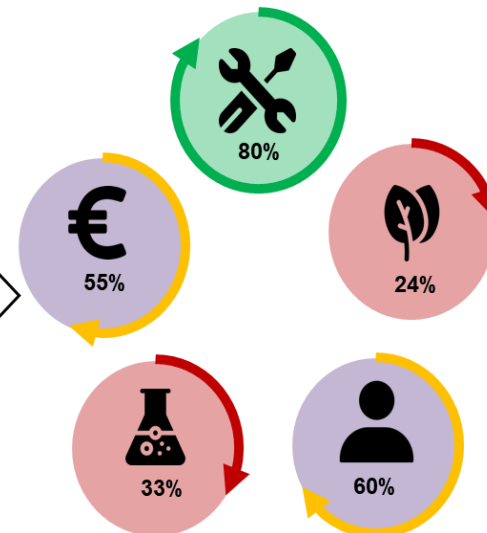
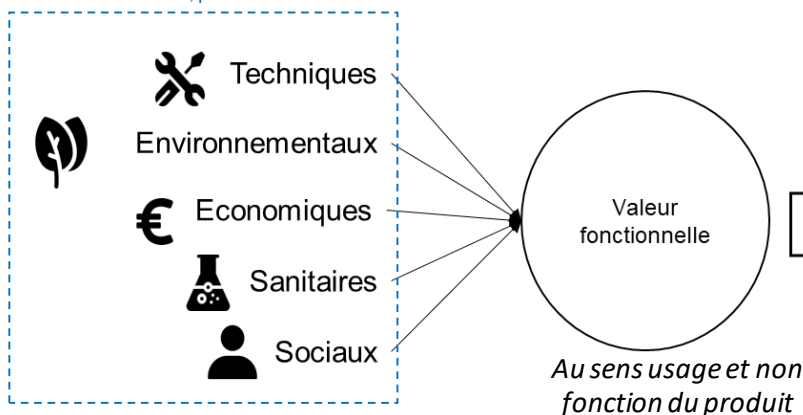
R.Horta Arduin-Thèse-De la gestion des déchets à l'approvisionnement de matières secondaires : développement d'indicateurs pour la gestion des DEEE - focus sur la filière française-2019

Projet de recherche- évaluation multidimensionnelle

Plan de relance-ANR: Développement d'un indice de circularité

Indice de circularité

Matrice multicritères, par matière



A titre d'exemple

Indicateurs [I]	Valeur [S]	Score
Climate change	0.28	B
Environnementaux	0.19	A
Water flow	0.59	C
Energy demand (flow)	0.98	E
Collectabilité	0.67	D
Recyclabilité	0.44	C
Valeur fonctionnelle	0.33	B

Indice d'économie circulaire [C]	
Valeur	Score
0.49	C



I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

C.Charbuillet

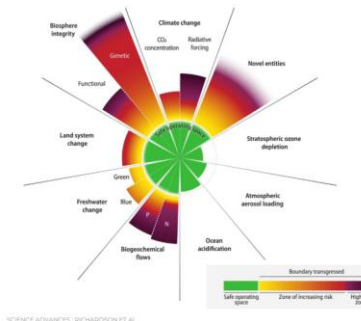
I. Qu'est-ce que l'ACV?



?



?



II. ACV et véhicules électriques

Objectif: Réduction de l'usage d'énergie fossile



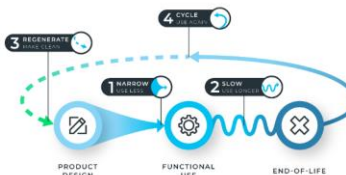
Moteurs électriques

Impact direct sur les ressources (ex: métaux critiques)

The following 34 raw materials are proposed for the CRM list, 2023:

2023 Critical Raw Materials (new CRMs in <i>italics</i>)		
aluminium/bauxite	coke/coal	lithium
antimony	feldspar	REE
arsenic	fluorspar	magnesium
baryte	germanium	manganese
beryllium	hafnium	natural graphite
bismuth	niobium	niobium
boron/borate	helium	PGM
cobalt	HREE	phosphate rock
		copper*
		phosphorus
		scandium
		silicon metal
		strontium
		tantalum
		titanium metal
		tungsten
		vanadium
		nickel*

Quantification par l'ACV+ économie circulaire



The graphic above depicts the four flows to achieve circular objectives: narrow, slow, regenerate and cycle. The four objectives are based on the work of Bocken et al. (2016).

Impact sur la biodiversité
Approche systémique
(homme-système-nature)



Stratégie RSE
Soutenabilité

Changement d'échelle : approche systémique

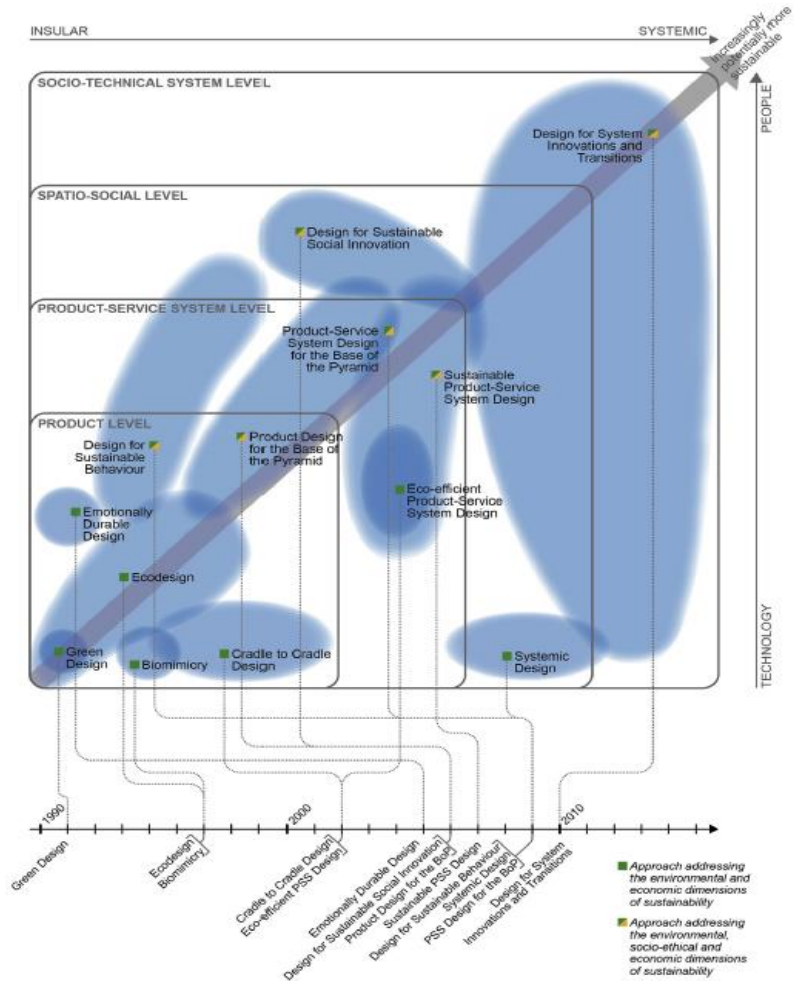
I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

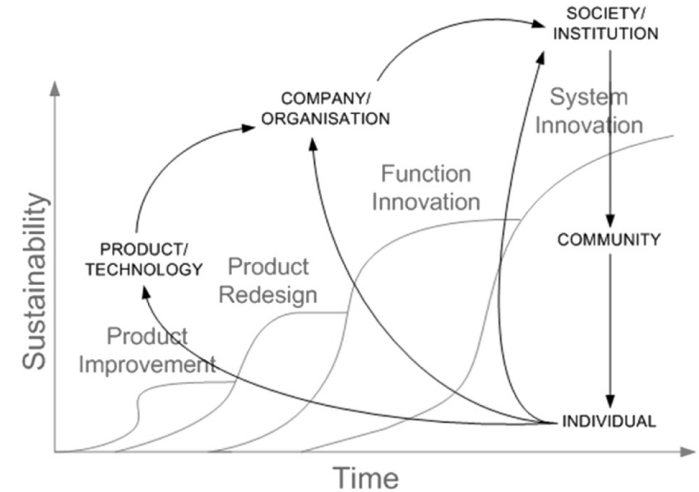
IV. Changement d'échelle

E.Millet



[Ceschin et al., 2016]

- Passage d'une transition en silo à une transition des SST
- D'une vision technique à une vision politico-culturelle



[Gaziulusoy, A. et al., 2015]

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

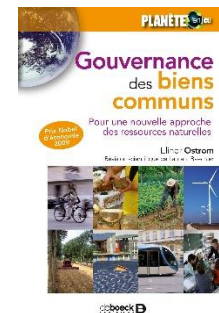
E.Millet

Transition socio-spatiale

- Approche située, adaptée au territoire et aux besoins pour une régénération des milieux (local/ global)
- De l'individuel au collectif
- De la technique à la transformation politique
- Approche holistique

Changement de vision du temps

- Réappropriation du temps (performance vs résilience)
- Faire, apprendre, co-crée, co-gérer, co-partager (Théorie des communs)



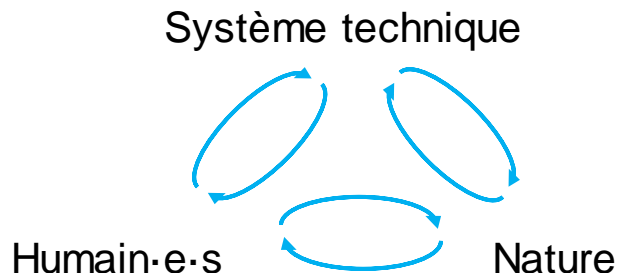
Nécessité de questionner nos modèles actuels et proposer une diversité des scénarios technologiques adaptées aux milieux (évitant les externalités négatives)

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle



Différents types d'interactions : du bio-géo-chimique au socio-économique
Différentes échelles : spatiales et temporelles

- ➔ Approche systémique avec focus socio-écologique
- ➔ Ne pas se réduire à la question des impacts ! Donner les moyens de problématiser en profondeur, jusqu'à la question des besoins

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

- **Humain-e-s** : des divers groupes humains (communautés politiques, groupes sociaux, etc.) jusqu'aux individus
- **Système technique** : l'artefact sur lequel se concentre la modélisation (micro-onde, panneau PV, smartphone, incinérateur, machine à laver, etc.)
- **Nature** : ensemble général des choses physiques et les processus bio-géo-chimiques
- **Interactions** : actions modifiant le comportement / la « nature » des éléments, corps, objets, phénomènes considérés

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

Étape du cycle de vie	Description du champ d'analyse	Causalités	Échelles de modélisation	H ↔ S	S ↔ N	N ↔ H
Conception	Définition spécifique des échelles si changement pour l'étape de cycle de vie considérée	Cause	Macro			
			Méso			
			Micro			
		Conséquence	Macro			
			Méso			
			Micro			

Modèle HSN : exemple du lithium

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

E.Millet

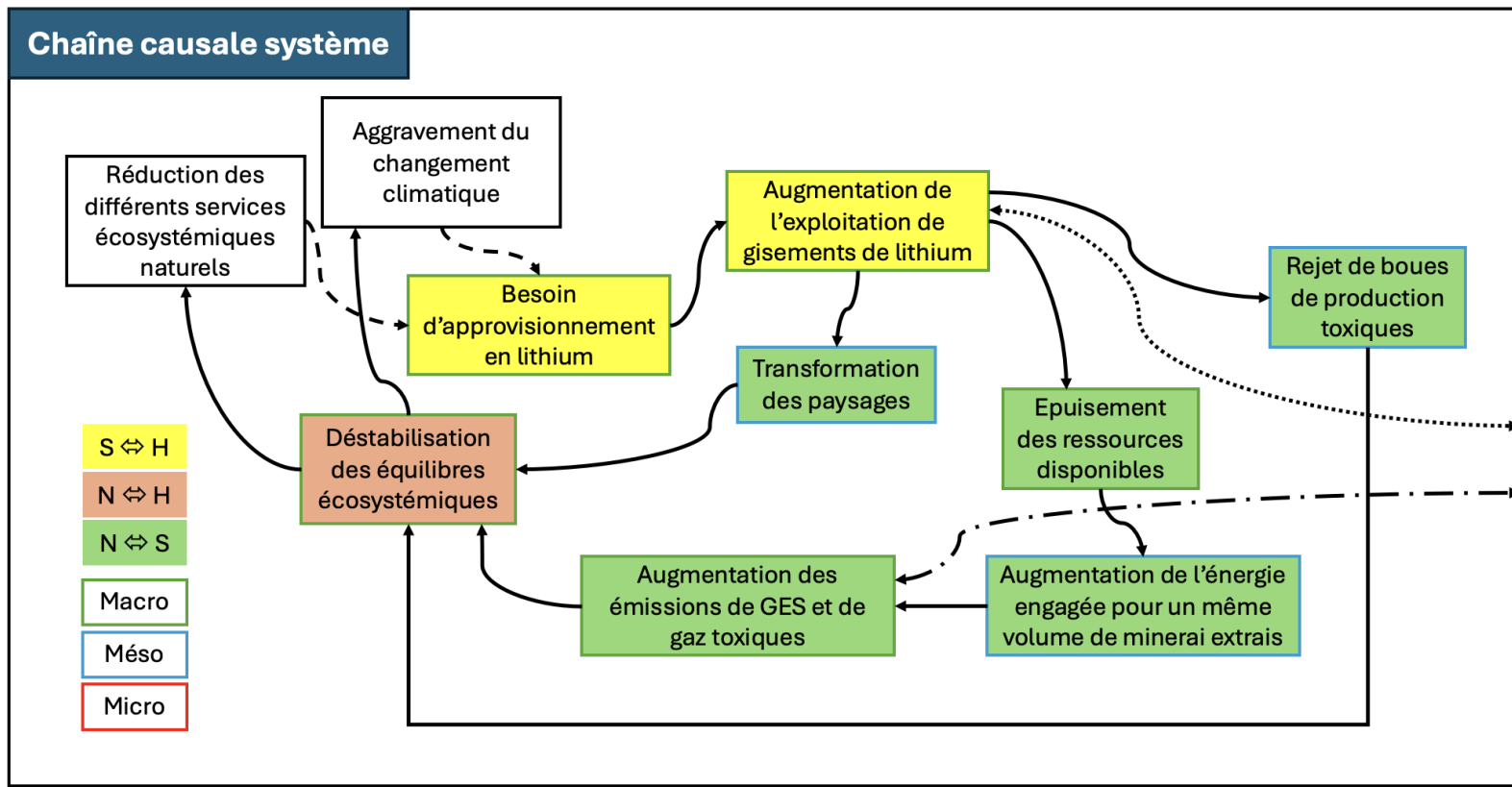
Système étudié : Lithium				S ↔ N	N ↔ H	S ↔ H
Etape	Description	Causes & conséquences	Echelle de modélisation			
Extraction	Extraction du spodumène et de la lepidolite, minerais contenant du lithium de manière abondante (Liu et al., 2023)	Causes	Macro	- Consommation d'eau importante - Consommation d'électricité importante	- Modification des flux sédimentaires et des cours d'eau	- Enjeux géostratégiques liés à la criticité autour des besoins et des réserves en lithium
			Méso	- Rejet de boues de production - Le lithium se trouve dans des déserts de sel	- Utilisation de terres arables	- Présence de populations autour des terrains exploités
			Micro			- Travailleurs exposés à des risques sanitaires
		Conséquences	Macro	- Production d'électricité importante, souvent carbonée	- Déstabilisation des écosystèmes aquatiques et du cycle de l'eau - Diminution du stock disponible	- Tensions géopolitiques liées à la compétition internationale autour des ressources
			Méso	- Les mines à ciel ouvert artificialisent les sols et impactent l'écosystème local - Baisse du stock d'eau dans les nappes phréatiques dans les régions exploitant des mines de lithium - Impact sur la faune et la flore des déserts de sel, destruction d'un environnement exceptionnel	- Air pollué par les poussières - Surexploitation des terres agricoles disponibles - Les sols asséchés ne sont plus utilisables pour des cultures	- Accès à l'eau restreint pour les populations locales - Expropriation de terres agricoles - Différence de portée entre l'exploitant et les autochtones
			Micro	- Contamination de l'eau	- Risques sanitaires liés à la pollution de l'eau	- Déplacement de travailleurs vers le site d'exploitation - Déplacement d'autochtones hors du site d'exploitation

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

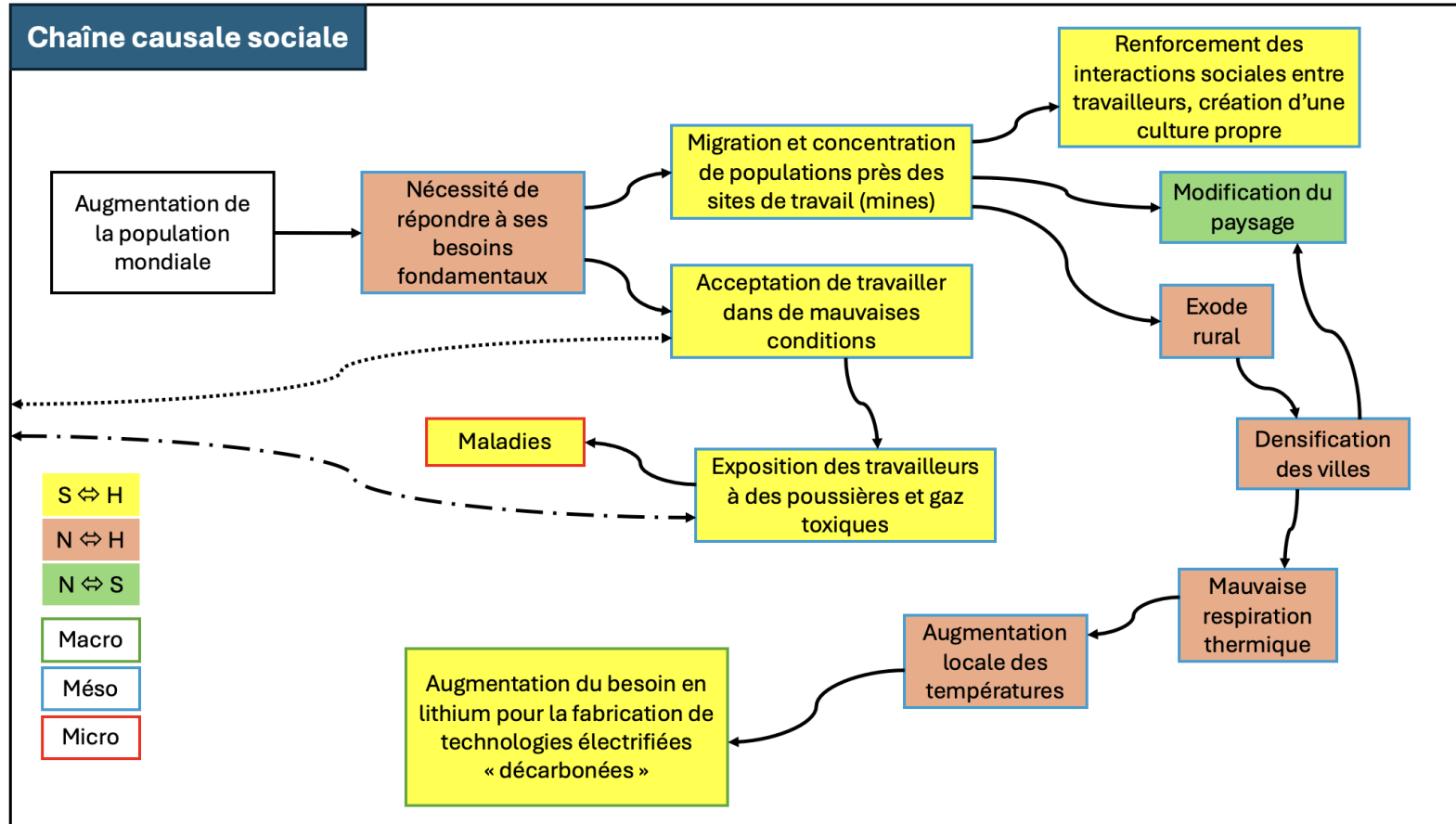


I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle



Approche systémique : conclusions

- Monde de plus en plus instable et concurrentiel : géopolitique, économie, effondrement du vivant...
- Dépassement de limites planétaires, effets de seuils mal connus et appréhendés
- Fonctionnement globalisé métabolisé par du combustible fossile
- Paradigme politico-économique basé sur de la croissance

Perturbations et ruptures de continuité diverses



Monde optimisé, performant et... fragile

Fonctionnement local, résilient, robuste...

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

E.Millet



Olivier Hamant



Inversion : naviguer à contre-courant dans un monde incertain

- <https://www.youtube.com/watch?v=9mj4ZK11oG8>
- https://www.youtube.com/watch?v=1fPTx-x9p_g
- <https://www.youtube.com/watch?v=AyfN4Dsypms>



Arthur Keller



Quelles stratégies face aux risques systémiques du XXI^{ème} siècle ?

- <https://www.youtube.com/watch?v=ecJD3rTtaDs>

I. Qu'est-ce que l'ACV?

II. ACV et véhicules électriques

III. Bilan

IV. Changement d'échelle

E.Millet



Revue de la régulation

Capitalisme, institutions, pouvoirs

14 | 2e semestre / Autumn 2013

Autour d'Ostrom : communs, droits de propriété et institutionnalisme méthodologique

Autour d'Ostrom : communs, droits de propriété et institutionnalisme méthodologique
La démarche d'Ostrom : concepts, outils et méthodes

Comment comprendre les « communs » : Elinor Ostrom, la propriété et la nouvelle économie institutionnelle

Olivier Weinstein, « Comment comprendre les « communs » : Elinor Ostrom, la propriété et la nouvelle économie institutionnelle », *Revue de la régulation* [En ligne], 14 | 2e semestre / Autumn 2013, mis en ligne le 13 février 2014, consulté le 28 février 2023. URL : <http://journals.openedition.org/regulation/10452> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/regulation.10452>

Un survol de la théorie des biens communs

Jean-Louis Combes, Pascale Combes-Motel, Sonia Schwartz

DANS *REVUE D'ÉCONOMIE DU DÉVELOPPEMENT* 2016/3 (VOL. 24), PAGES 55 À 83
ÉDITIONS DE BOECK SUPÉRIEUR

ISSN 1245-4060

ISBN 9782807390201

DOI 10.3917/edd.303.0055

<https://www.cairn.info/revue-d-economie-du-developpement-2016-3-page-55.htm&wt.src=pdf>

3. ACV et enjeux pour les matériaux de la transition énergétique

Carole Charbuillet

carole.charbuillet@ensam.eu

Edouard Millet

Edouard.millet@ensam.eu

Tatiana Reyes

Tatiana.reyes@ensam.eu

MERCI

ARTS
ET MÉTIERS

ECO
CONCEVOIR
DEMAIN

ēdlb⁺
L'école de la batterie

