

19 novembre 2025, Bordeaux

EnergyScope-LCA : un modèle de système énergétique multisectoriel intégrant des indicateurs ACV prospectifs et régionalisés

[Matthieu Souttre](#)¹, [Jonas Schnidrig](#)², [Arthur Chuat](#)², [Loïc Fischer](#)¹, [Amirhossein Mahmoudi Shakardasht](#)⁴, [Guillaume Majeau-Bettez](#)¹, [François Maréchal](#)^{1,2}, [Manuele Margni](#)^{1,3}

¹ CIRAIQ, École Polytechnique de Montréal, 3333 Queen Mary Road, Montréal, H3V1A2, Québec, Canada

² Industrial Process and Energy Systems Engineering group, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Rue de l'Industrie 17, Sion, 1950, Switzerland

³ CIRAIQ, Institute for Sustainable Energy, University of Applied Sciences Western Switzerland, Rue de l'Industrie 23, Sion, 1950, Switzerland

⁴ Dipartimento di Ingegneria industriale, Università degli Studi di Padova, Via Gradenigo, 6/a, Padova, 35131, Italy

CIRAIQ



UQÀM

EPFL

Hes-so

MCV

**Congrès
Management
du Cycle de Vie
2025**

Table des matières



1. Question de recherche et contributions
2. Méthodologie
3. Application au cas du Québec
4. Discussion & Conclusions

Question de recherche et contributions



Question de recherche : comment l'intégration de données **ACV** régionalisées et prospectives dans les **modèles de système énergétique** influence-t-elle la **conception et l'évaluation de scénarios de transition énergétique** ?

Question de recherche et contributions



Question de recherche : comment l'intégration de données **ACV** régionalisées et prospectives dans les **modèles de système énergétique** influence-t-elle la **conception et l'évaluation de scénarios de transition énergétique** ?

Contributions :

- Développement d'une méthodologie d'intégration d'indicateurs ACV dans les modèles de système énergétique

Question de recherche et contributions



Question de recherche : comment l'intégration de données **ACV** régionalisées et prospectives dans les **modèles de système énergétique** influence-t-elle la **conception et l'évaluation de scénarios de transition énergétique** ?

Contributions :

- Développement d'une méthodologie d'intégration d'indicateurs ACV dans les modèles de système énergétique
- Développement de l'outil EnergyScope-LCA qui, en se basant sur la précédente méthodologie, intègre des données ACV prospectives et régionalisées



Méthodologie

Intégration de données ACV prospectives et régionalisées dans un ESM à l'aide de 3 outils gratuits et open-source

premise : créer des projections futures de la base de données *ecoinvent*



ecoinvent

Base de données
ecoinvent

**REMIND
IMAGE
TIAM-UCL**

Scénarios
prospectifs issus
des MEI



Jeux de données
additionnels issus
de la littérature

premise

Crédit : Romain Sacchi et al.

Bases de données prospectives
Jusqu'en 2100
Pour un ensemble de scénarios



ENTRÉES

SORTIES

regioinvent : créer une version entièrement régionalisée de *ecoinvent*



ecoinvent



BACI



Base de données
ecoinvent / premise

Base de données
d'échanges
internationaux (BACI)

Méthodes
d'évaluation des
impacts (IMPACT
World+, ReCiPe, EF)

ENTRÉES

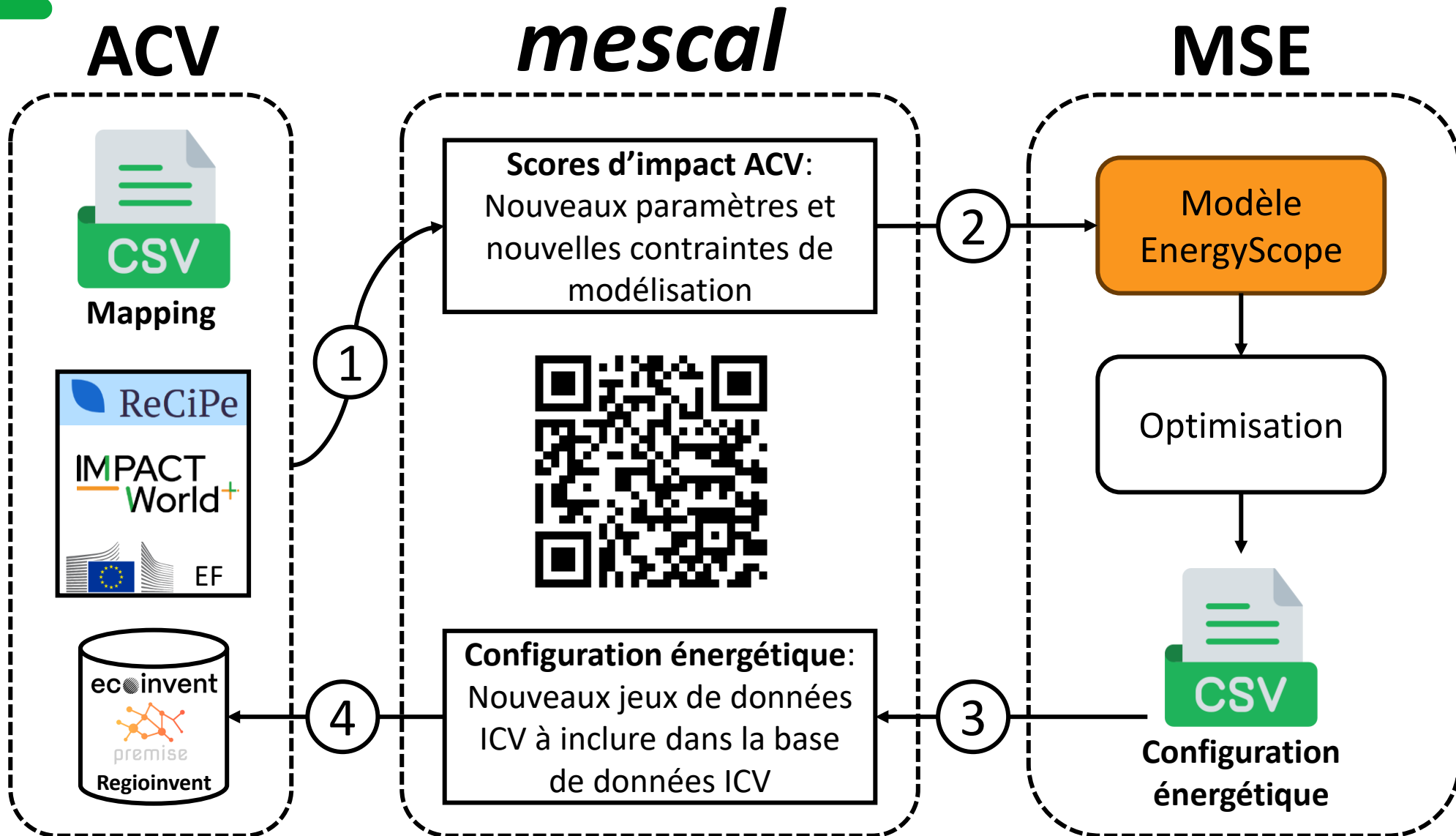
Regioinvent / Regiopremise

Crédit : Maxime Agez et al.

Base de données
ecoinvent / premise et
méthodes EICV régionalisées

SORTIES

mescal : intégrer les données ACV dans les MSE



Mapping entre les technologies/resources du MSE et les jeux de données ICV



MSE

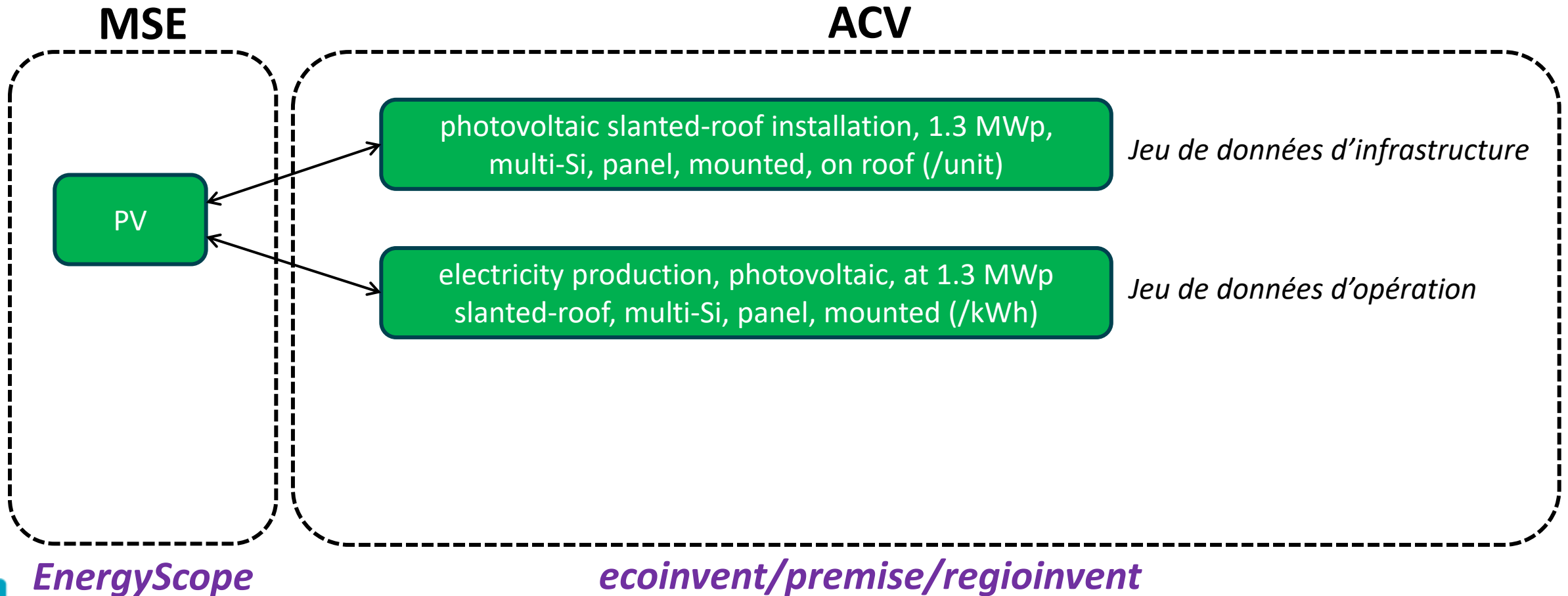
ACV



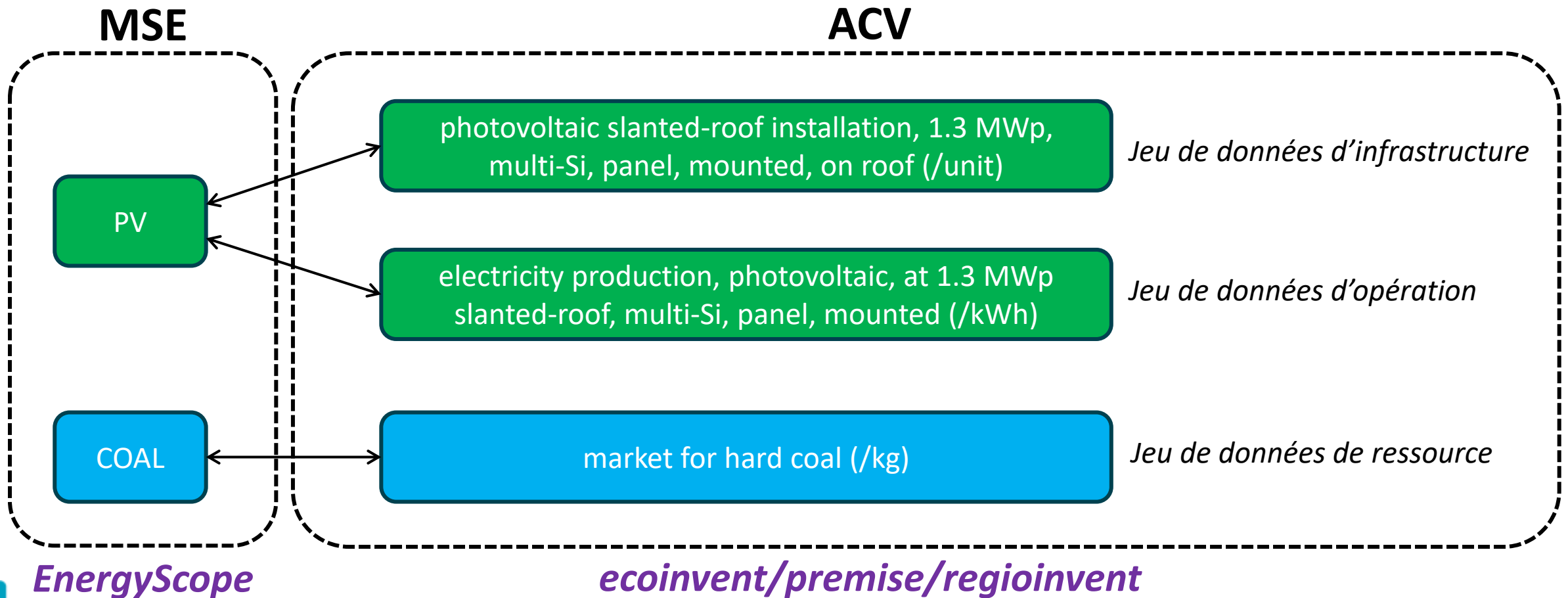
EnergyScope

ecoinvent/premise/regioinvent

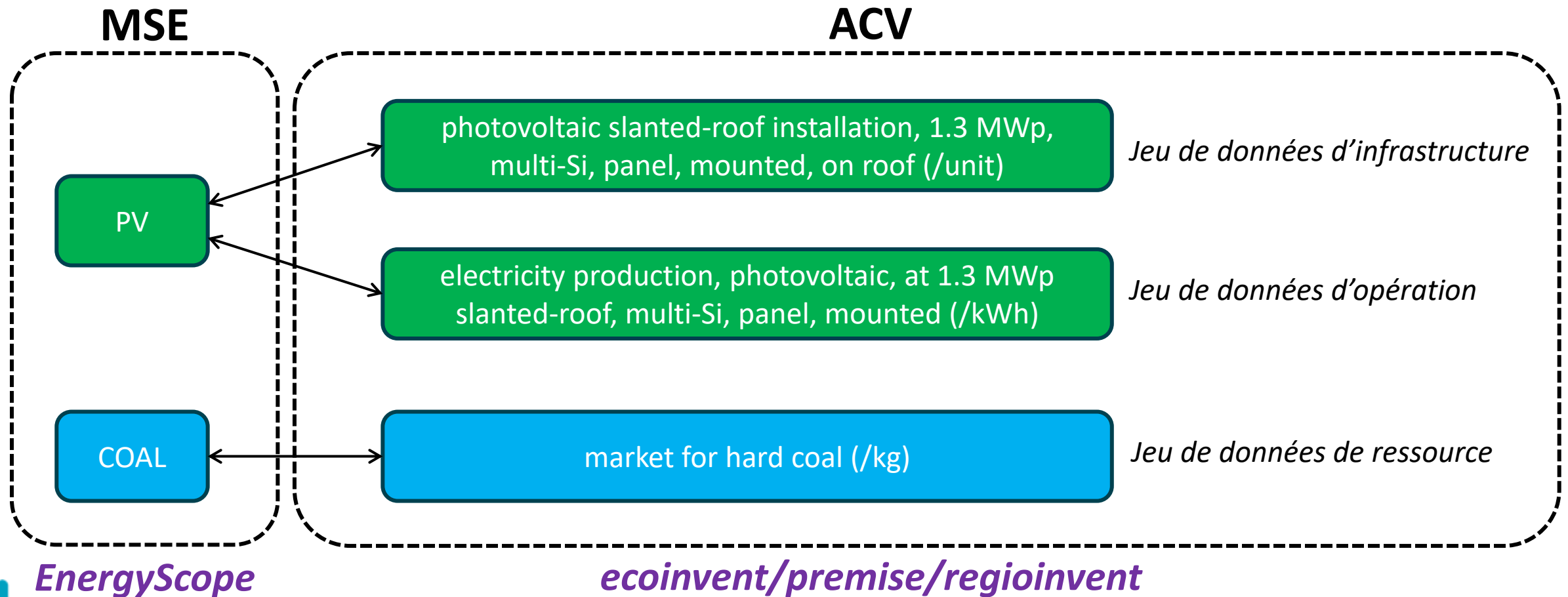
Mapping entre les technologies/resources du MSE et les jeux de données ICV



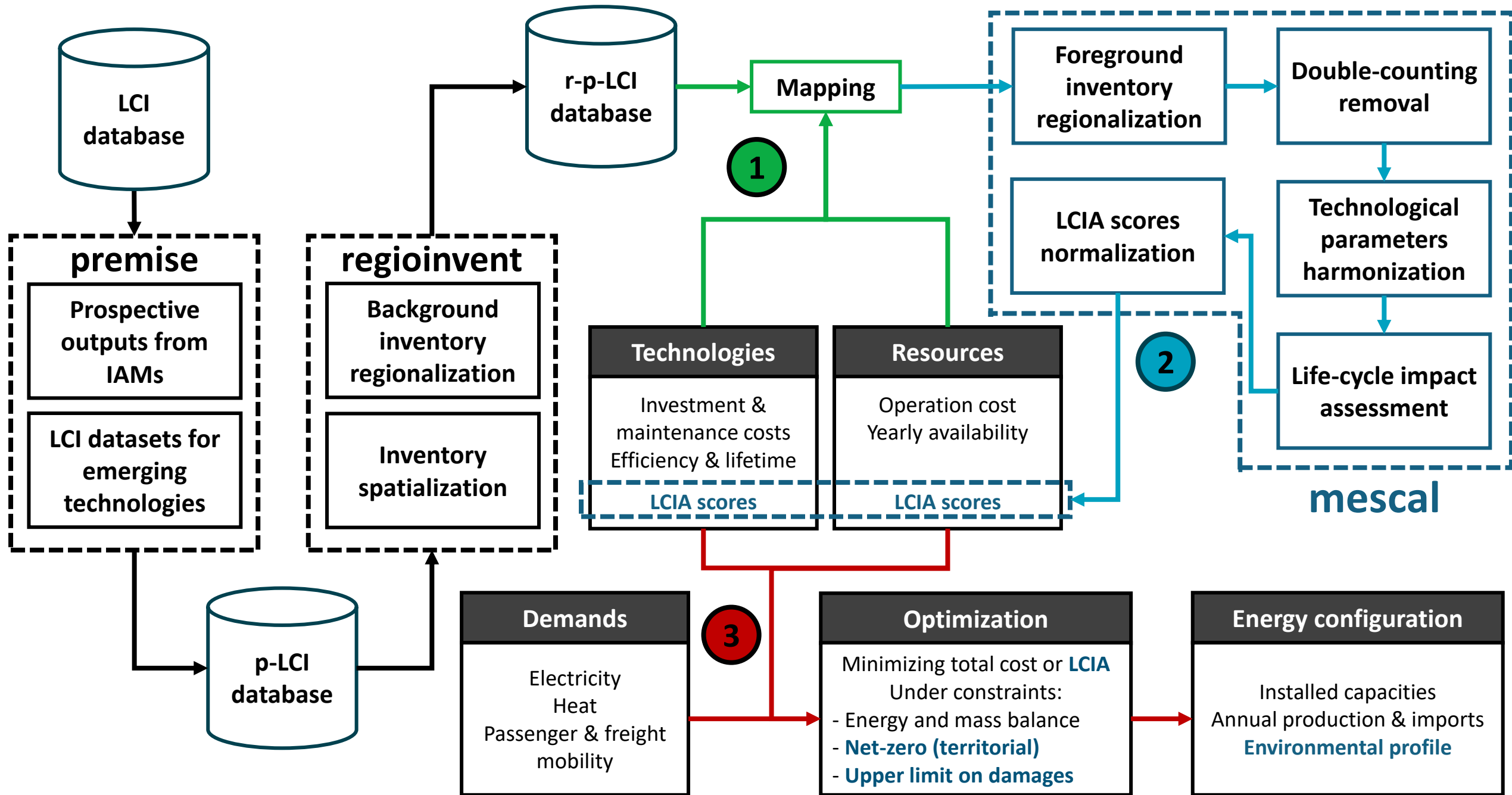
Mapping entre les technologies/resources du MSE et les jeux de données ICV

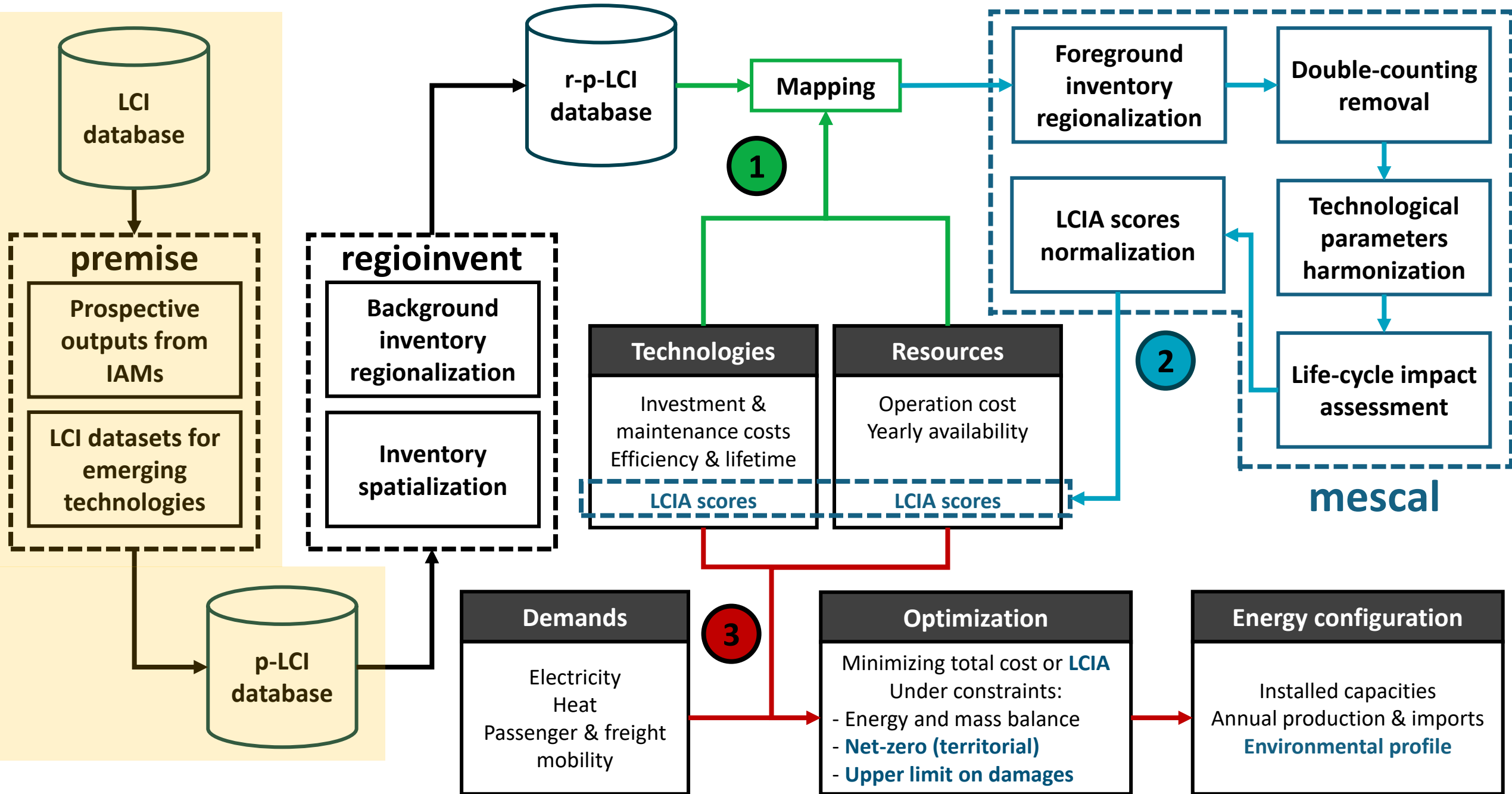


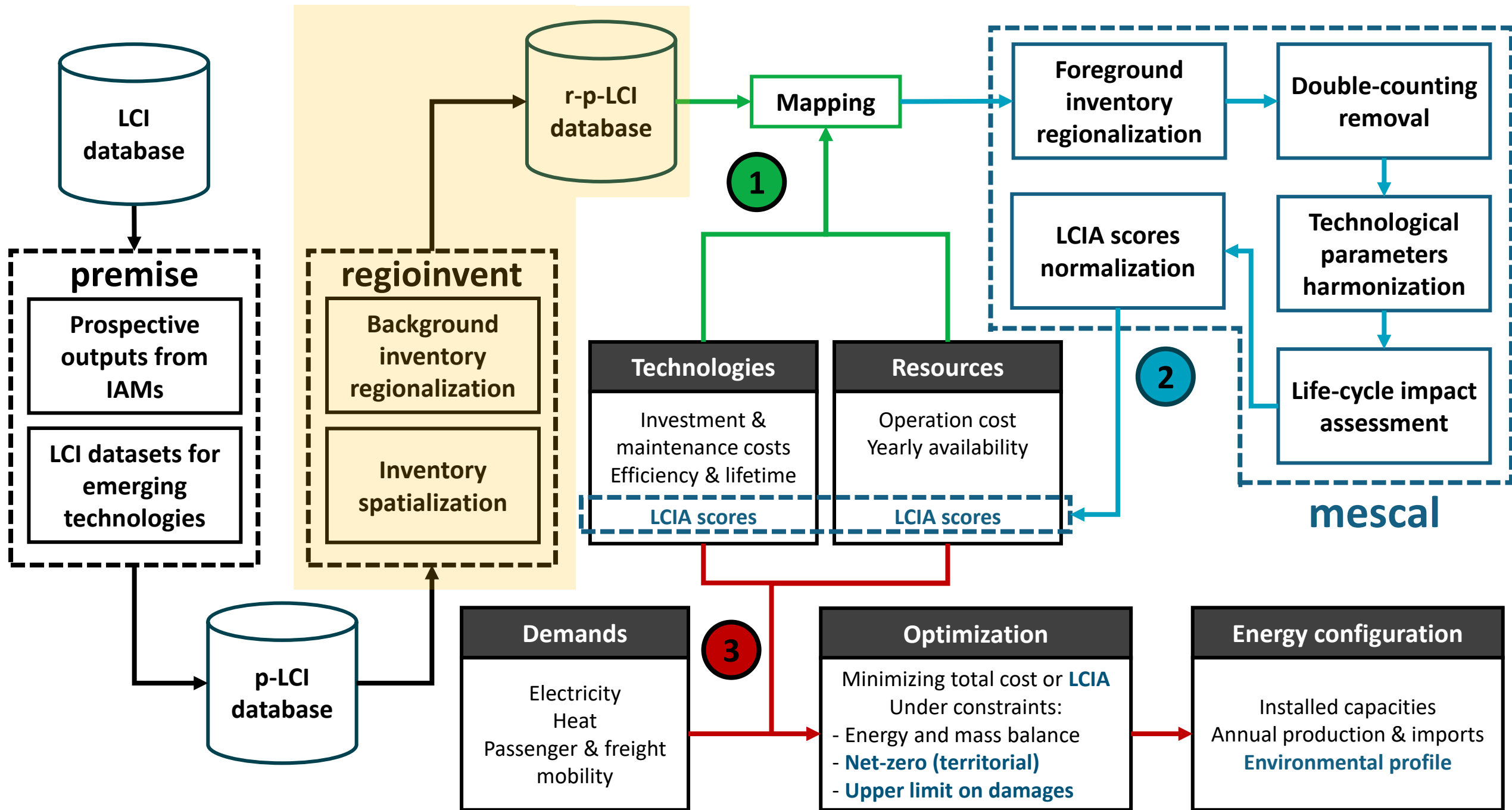
Mapping entre les technologies/resources du MSE et les jeux de données ICV

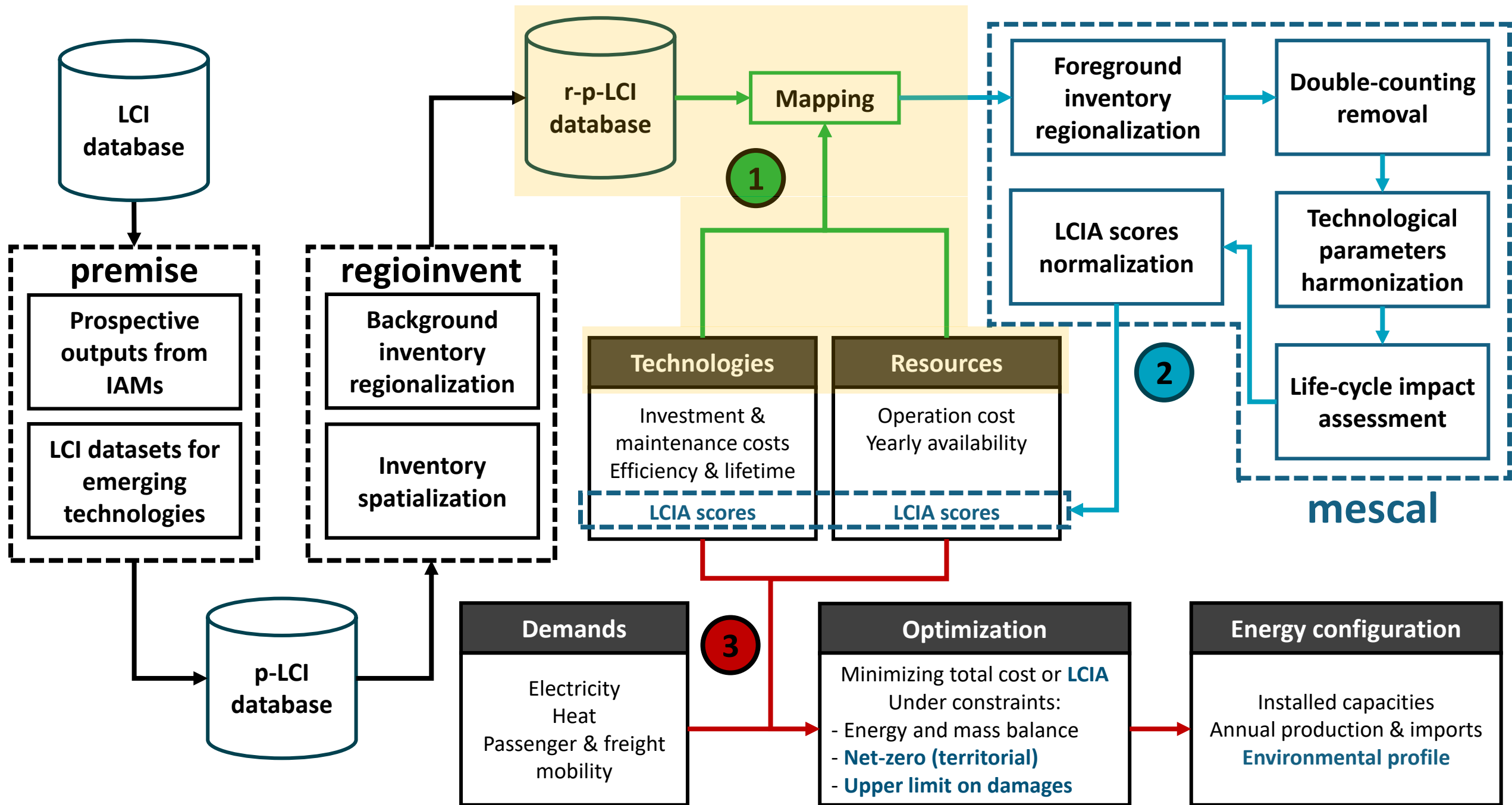


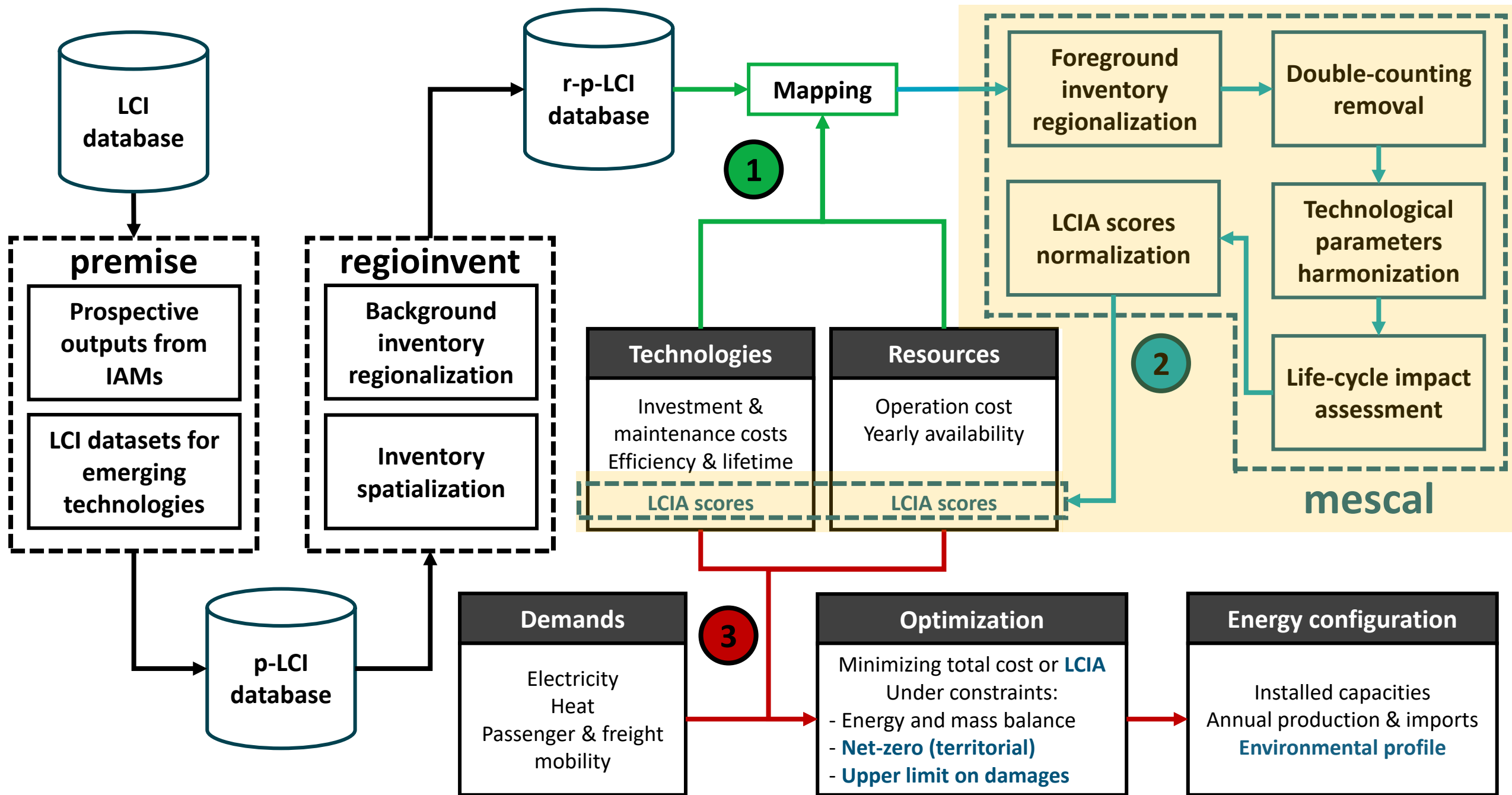
→ Disponible en accès libre (gain de temps significatif pour implémentation dans votre MSE) **CIRAIG**

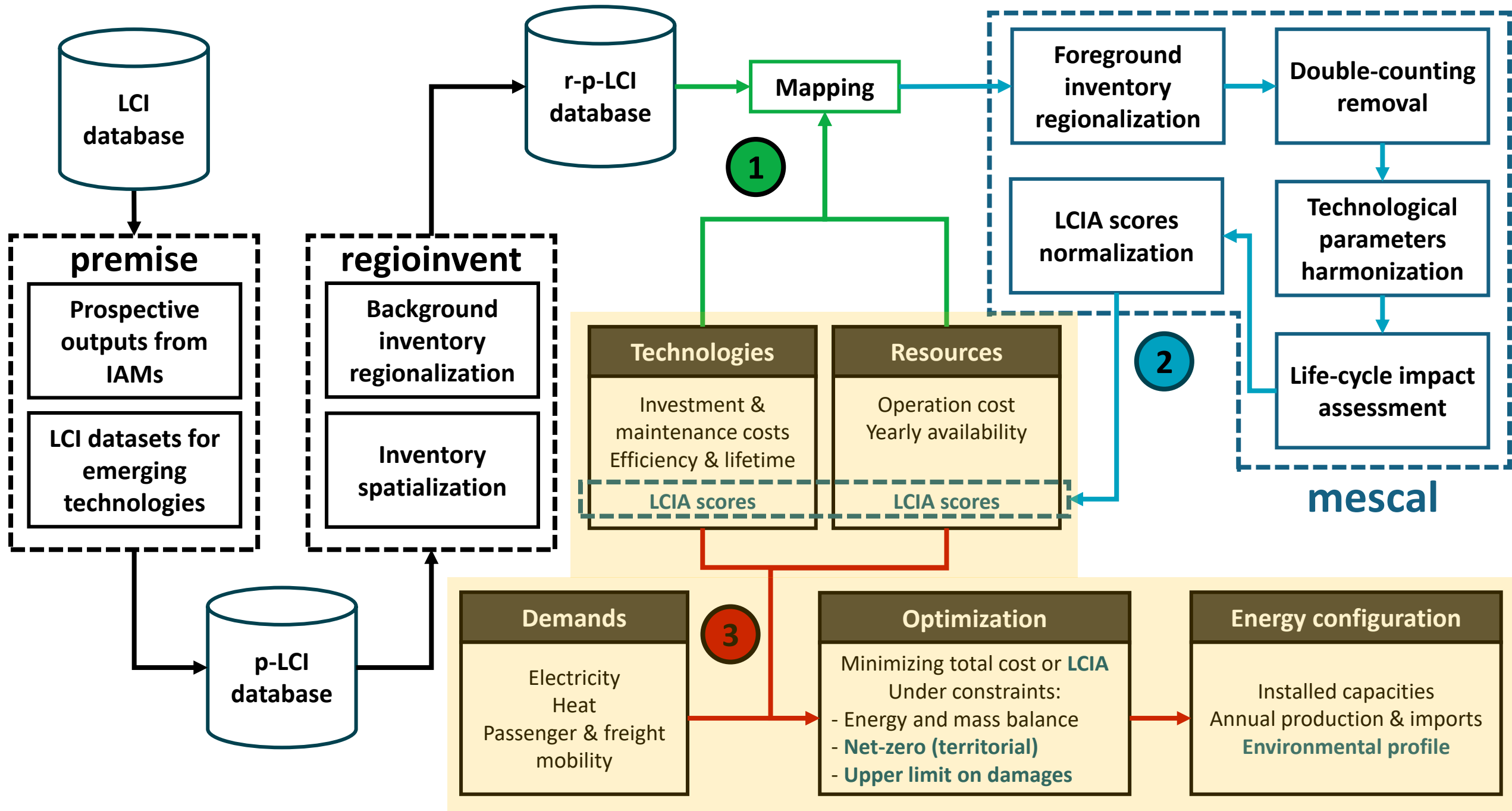


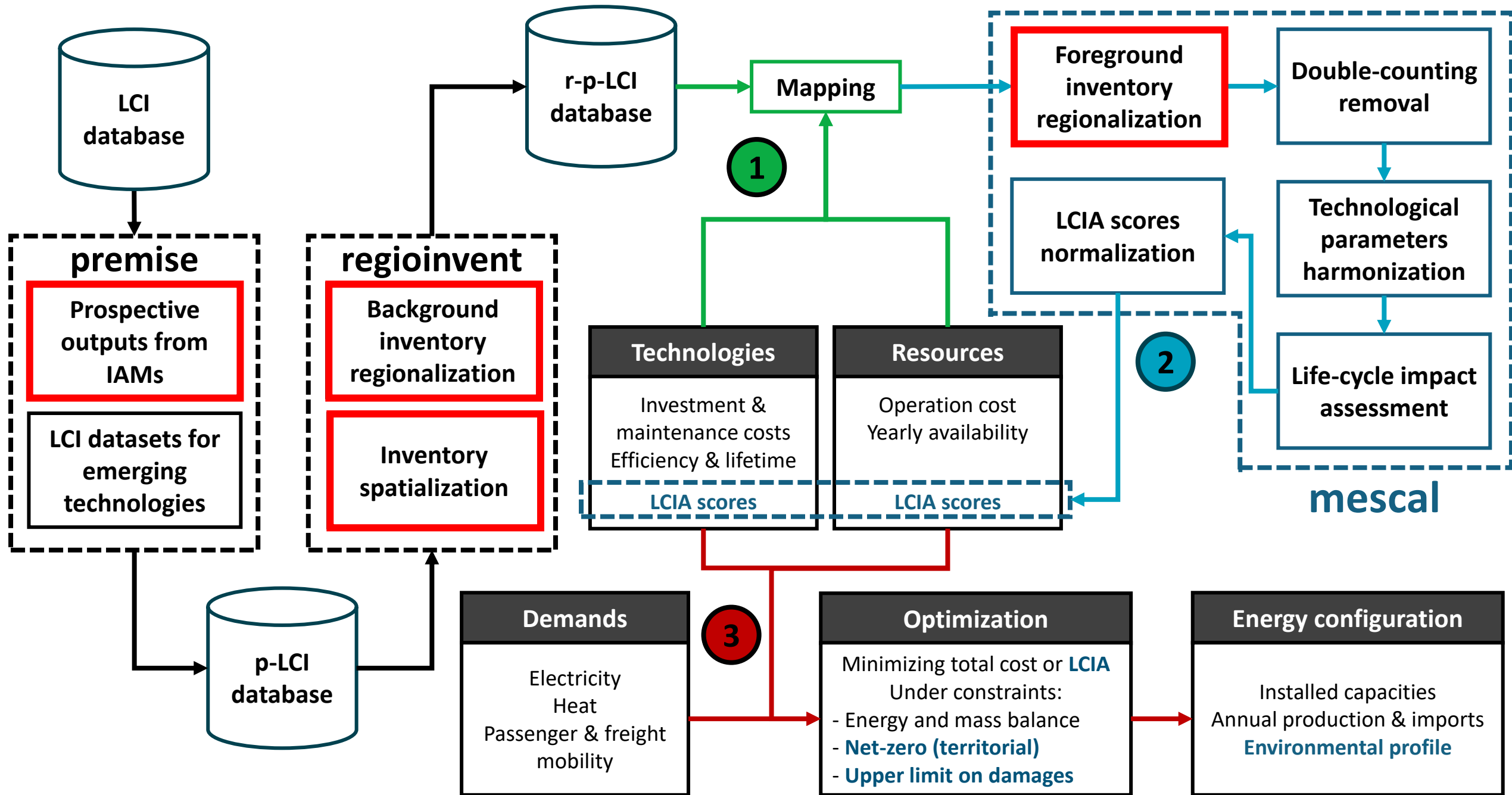




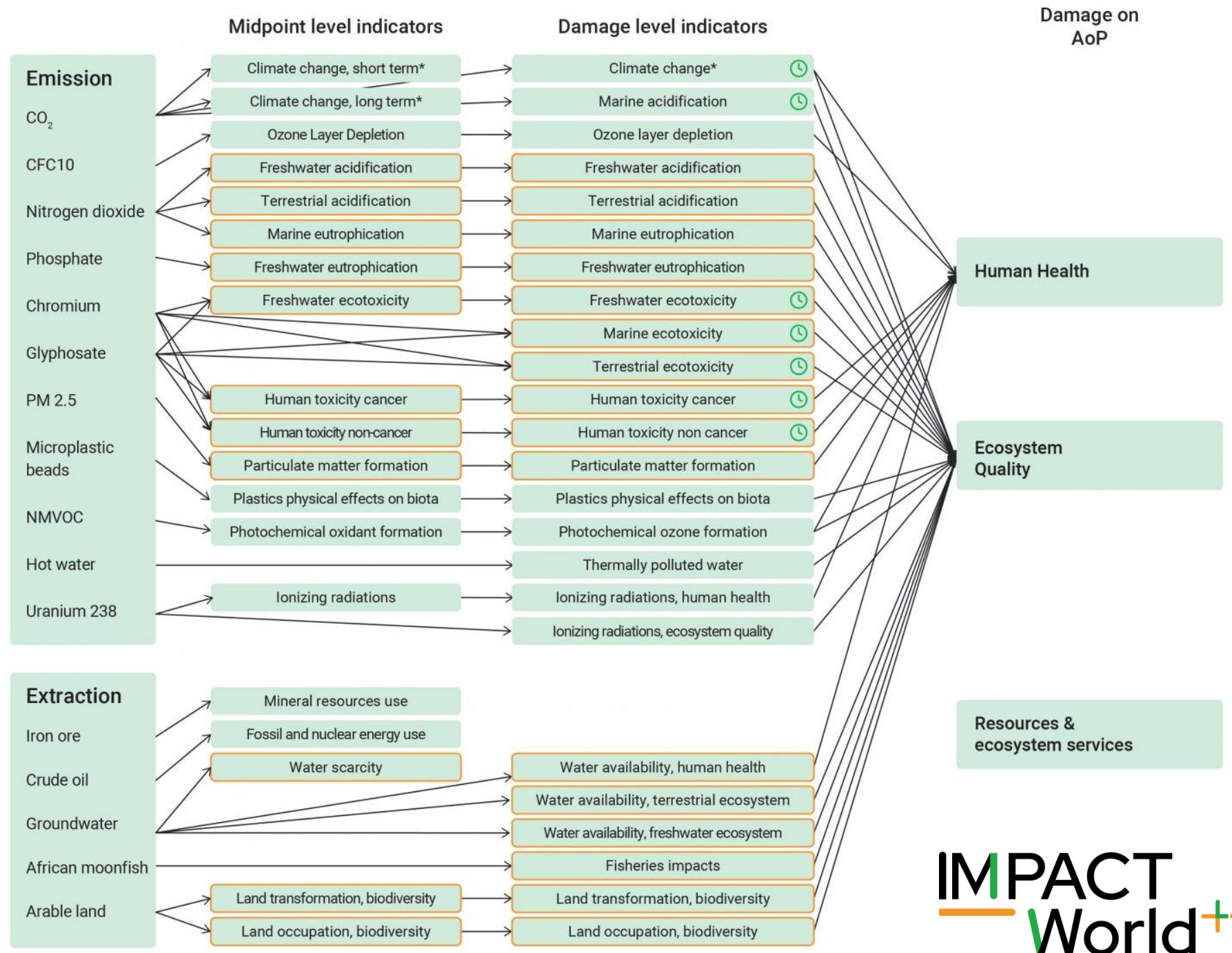








IMPACT World+ : méthodes d'évaluation des impacts du cycle de vie





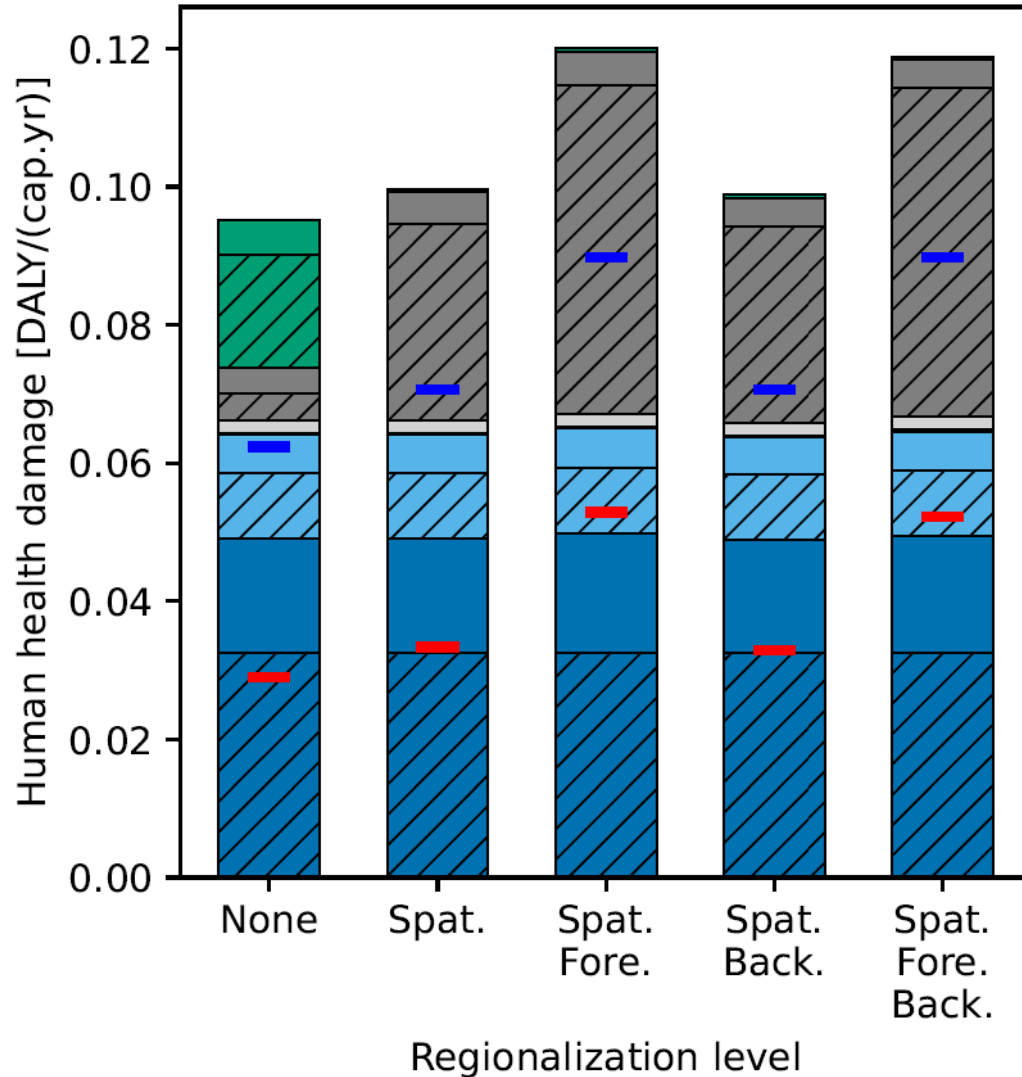
Résultats

Application au cas du Québec en 2021 et en 2050



Systeme énergétique québécois en 2021

Santé humaine – Contribution des catégories d'impact

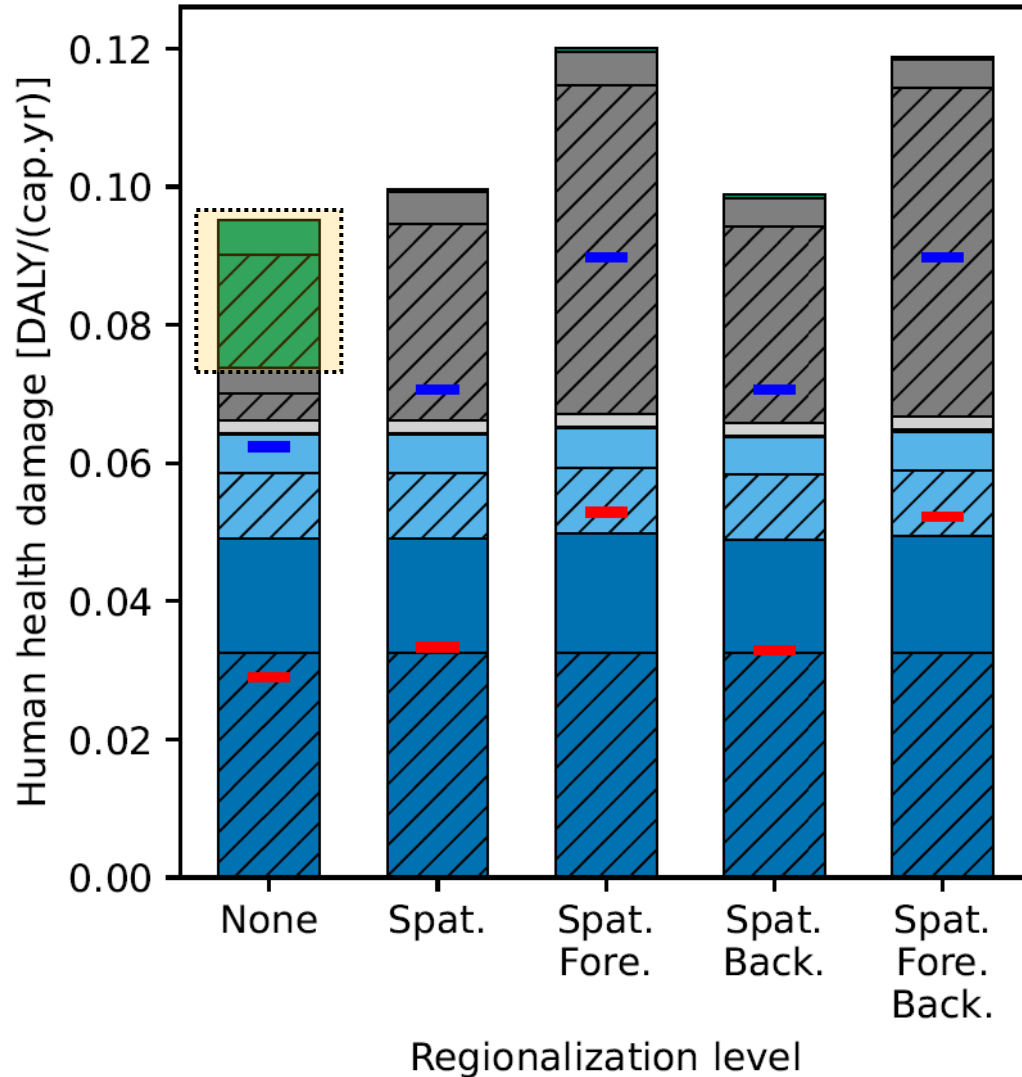


- Emission scope**
- Direct (hatched pattern)
 - Indirect (white)
- Impact category**
- Water availability, human health ✓ (green hatched)
 - Particulate matter formation ✓ (grey hatched)
 - Other (grey)
 - Climate change, human health, short term (light blue)
 - Climate change, human health, long term (dark blue)
- Contribution of**
- Direct emissions (blue hatched)
 - Regionalized categories ✓ (red)



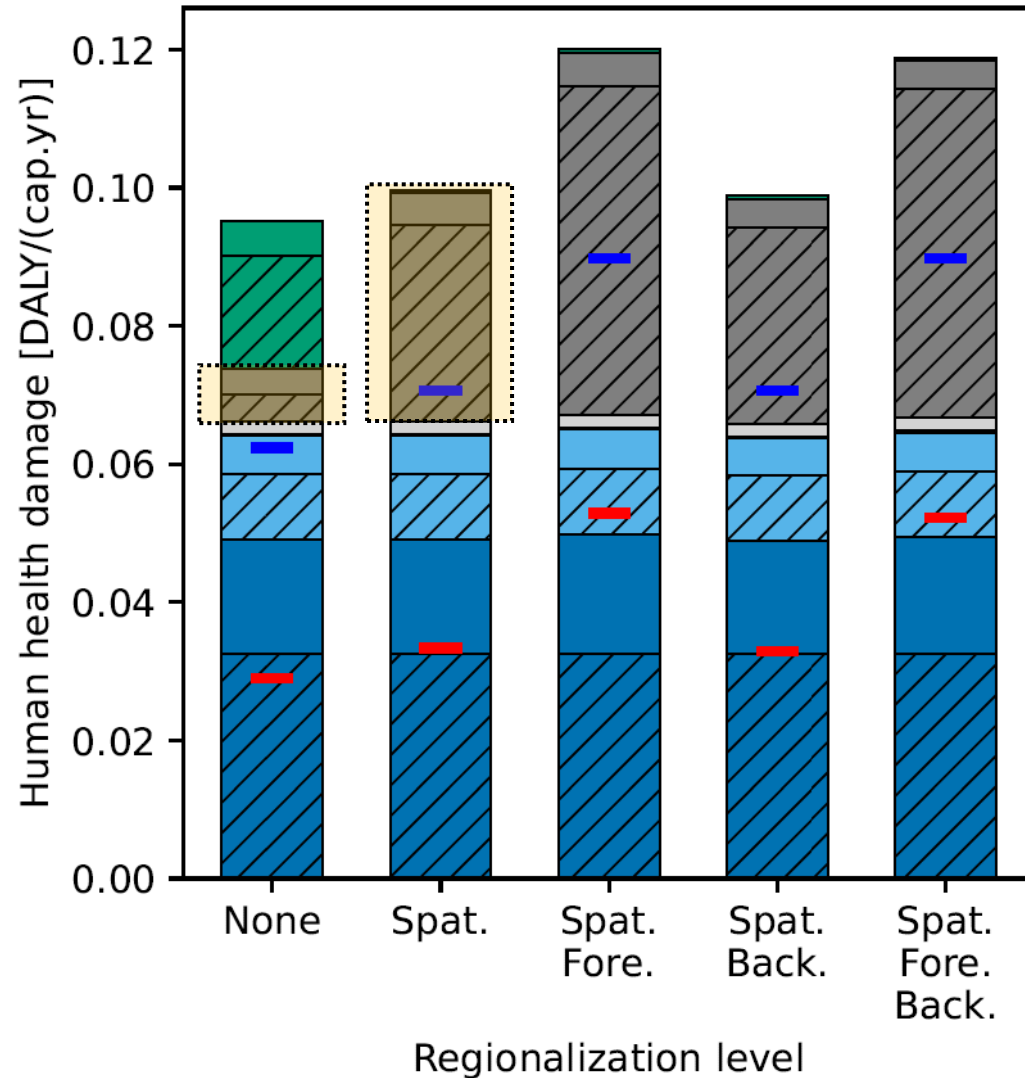
Systeme énergétique québécois en 2021

Santé humaine – Contribution des catégories d'impact



Systeme énergétique québécois en 2021

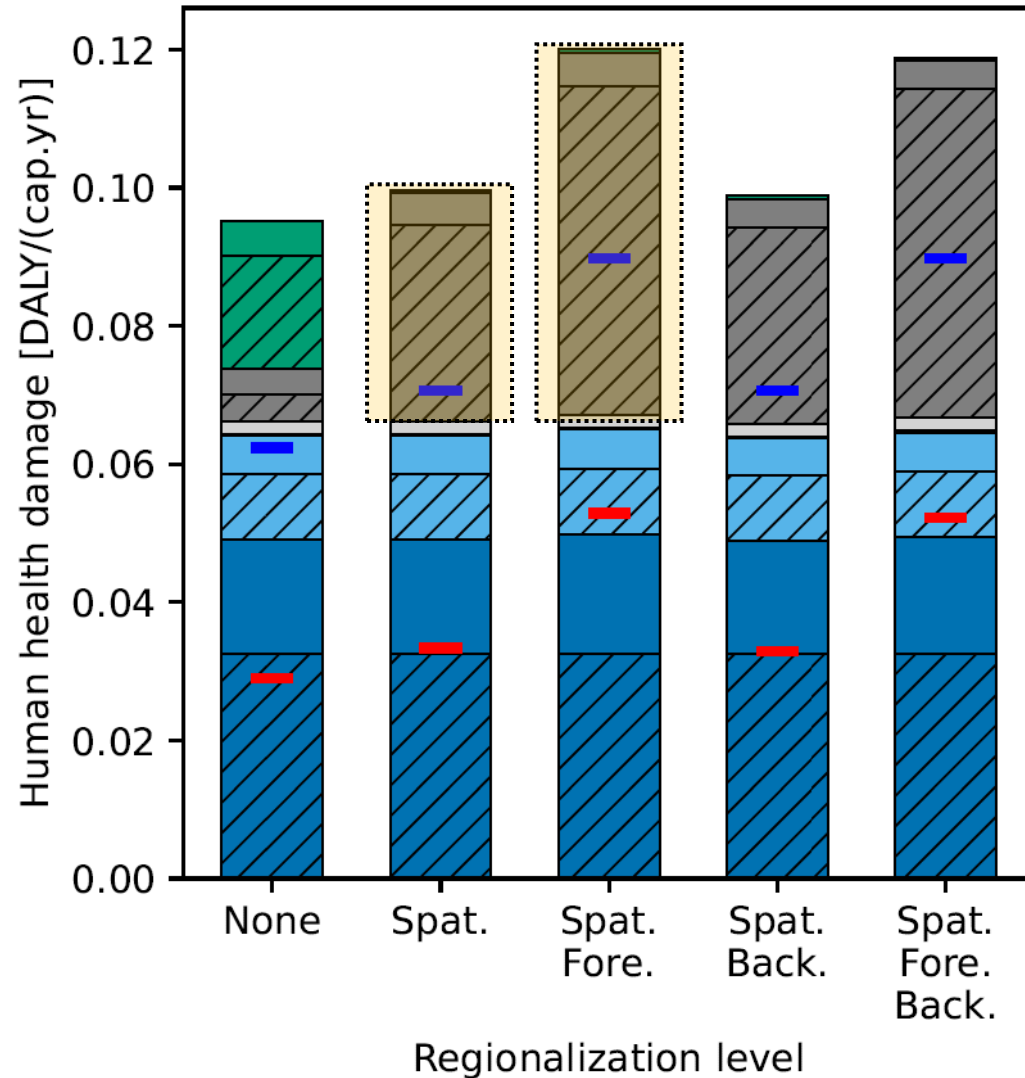
Santé humaine – Contribution des catégories d'impact



- Emission scope
 - Direct (hatched)
 - Indirect (white)
- Impact category
 - Water availability, human health ✓ (green hatched)
 - Particulate matter formation ✓ (dark grey hatched)
 - Other (grey)
 - Climate change, human health, short term (light blue)
 - Climate change, human health, long term (blue)
- Contribution of
 - Direct emissions (blue hatched)
 - Regionalized categories ✓ (red)

Systeme énergétique québécois en 2021

Santé humaine – Contribution des catégories d'impact



Emission scope

Direct

Indirect

Impact category

Water availability, human health ✓

Particulate matter formation ✓

Other

Climate change, human health, short term

Climate change, human health, long term

Contribution of

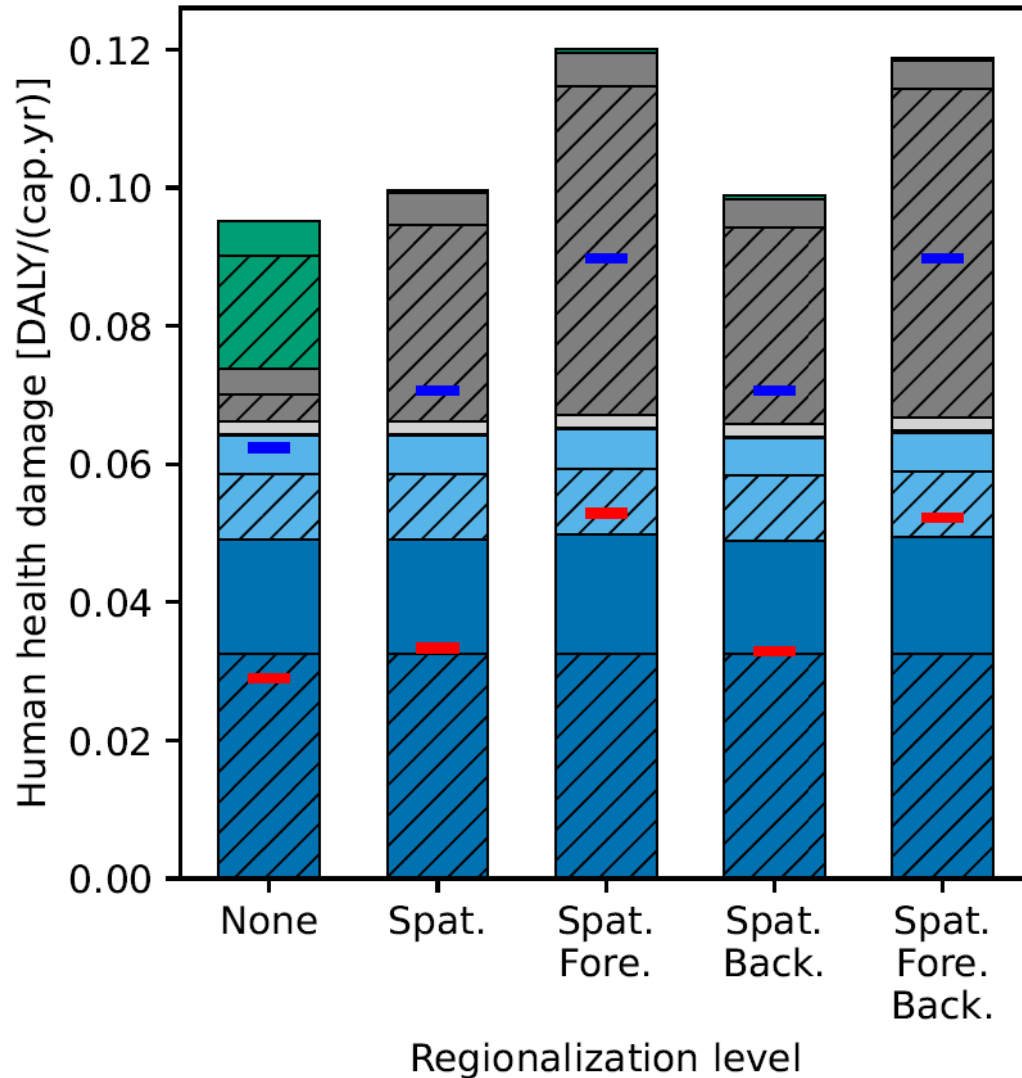
Direct emissions

Regionalized categories ✓

IMPACT
World+

Systeme énergétique québécois en 2021

Santé humaine – Contribution des catégories d'impact

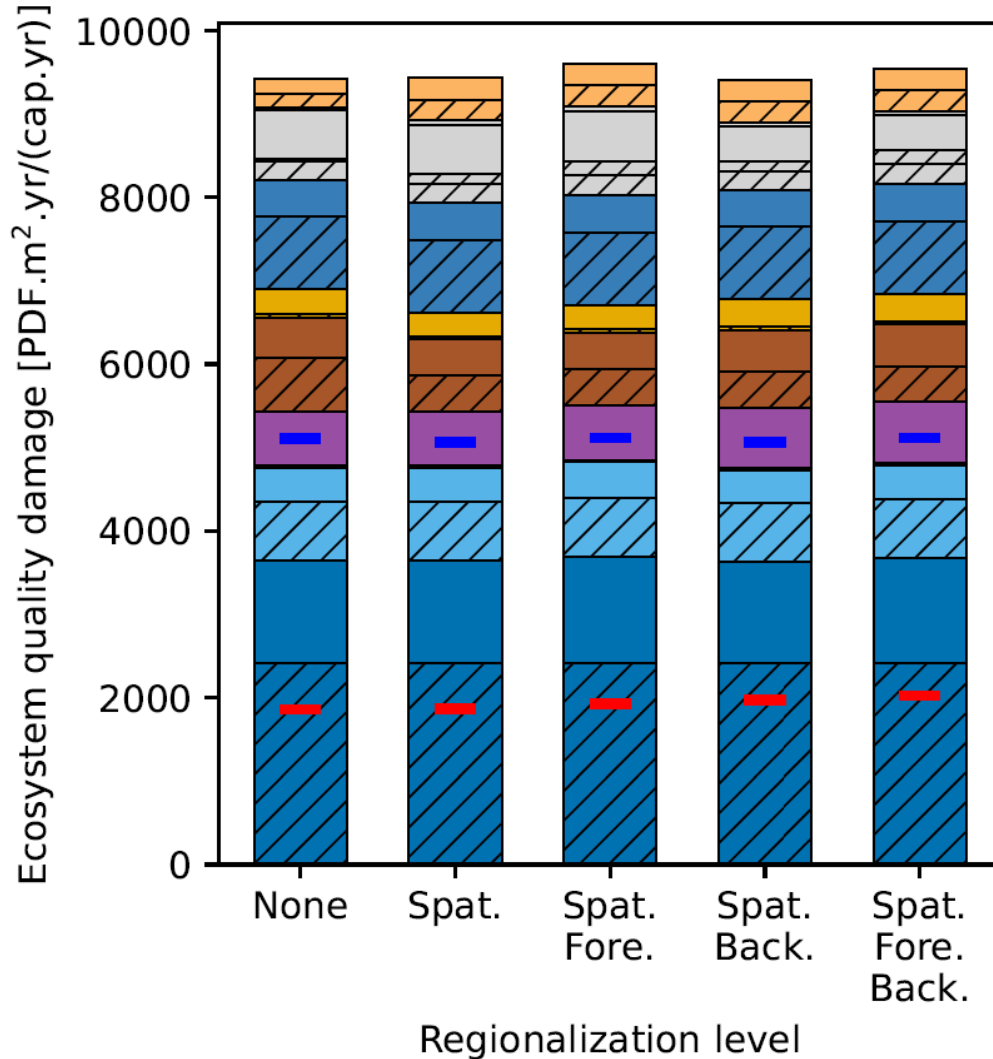


- Emission scope**
- Direct (diagonal lines)
 - Indirect (white)
- Impact category**
- Water availability, human health ✓ (green)
 - Particulate matter formation ✓ (grey)
 - Other (light grey)
 - Climate change, human health, short term (light blue)
 - Climate change, human health, long term (dark blue)
- Contribution of**
- Direct emissions (blue dashed box)
 - Regionalized categories ✓ (red)



Systeme énergétique québécois en 2021

Qualité des écosystèmes – Contribution des catégories d'impact



Emission scope

Direct

Indirect

Impact category

Terrestrial acidification

Other ✓

Marine acidification, long term

Land transformation, biodiversity ✓

Land occupation, biodiversity ✓

Freshwater ecotoxicity, long term

Climate change, ecosystem quality, short term

Climate change, ecosystem quality, long term

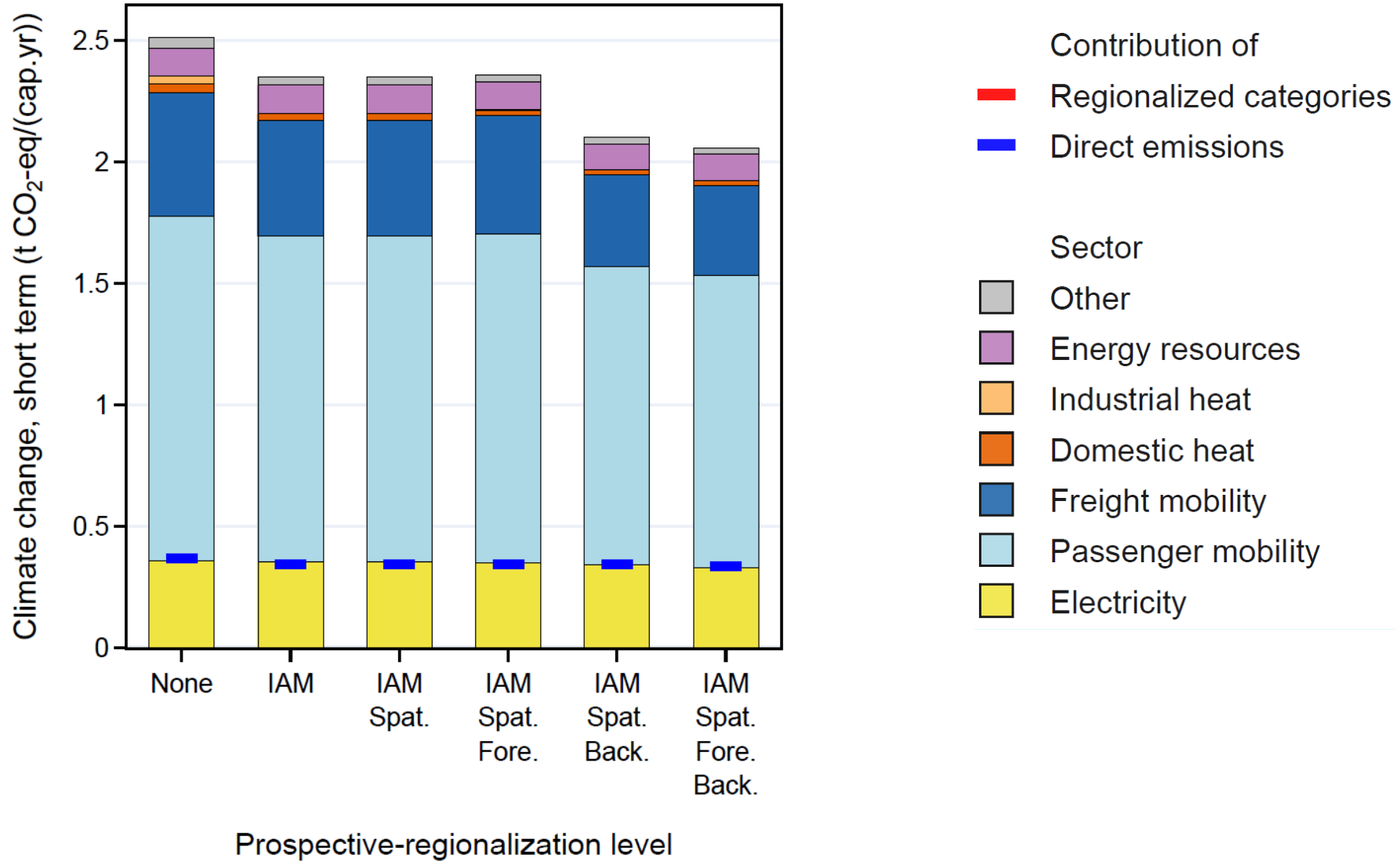
Contribution of

Direct emissions

Regionalized categories ✓

Systeme énergétique québécois en 2050

GWP100 – Contribution des secteurs





Discussion & Conclusions

Take-home message et limitations

Discussion & conclusions



Évaluation des scénarios de transition énergétique :

- Les étapes de spatialisation et de régionalisation de l'avant-plan changent fortement les résultats, surtout pour les dommages sur la santé humaine

Discussion & conclusions



Évaluation des scénarios de transition énergétique :

- Les étapes de spatialisation et de régionalisation de l'avant-plan changent fortement les résultats, surtout pour les dommages sur la santé humaine
- Si on se concentre uniquement sur le changement climatique, la régionalisation importe peu *avec la présente configuration énergétique*

Discussion & conclusions



Évaluation des scénarios de transition énergétique :

- Les étapes de spatialisation et de régionalisation de l'avant-plan changent fortement les résultats, surtout pour les dommages sur la santé humaine
- Si on se concentre uniquement sur le changement climatique, la régionalisation importe peu *avec la présente configuration énergétique*

Limitations :

- Comptabilité carbone

Discussion & conclusions



Évaluation des scénarios de transition énergétique :

- Les étapes de spatialisation et de régionalisation de l'avant-plan changent fortement les résultats, surtout pour les dommages sur la santé humaine
- Si on se concentre uniquement sur le changement climatique, la régionalisation importe peu *avec la présente configuration énergétique*

Limitations :

- Comptabilité carbone
- Hypothèses de régionalisation prospectives

Discussion & conclusions

Évaluation des scénarios de transition énergétique :

- Les étapes de spatialisation et de régionalisation de l'avant-plan changent fortement les résultats, surtout pour les dommages sur la santé humaine
- Si on se concentre uniquement sur le changement climatique, la régionalisation importe peu *avec la présente configuration énergétique*

Limitations :

- Comptabilité carbone
- Hypothèses de régionalisation prospectives
- Choix de scénario prospectif avec *premise*



Fonds de recherche
Nature et
technologies
Québec 



Merci! Questions?

Souttre Matthieu

Étudiant au doctorat

matthieu.souttre@polymtl.ca



Documentation
de *mescal*

ciraig.org



Congrès
Management
du Cycle de Vie
2025



Validation : comparaison des sorties de EnergyScope avec les données statistiques (système énergétique québécois en 2021)



Table 4: Model demonstration: EnergyScope (ES) outputs vs. reference values for Québec energy system in 2021. Δ stands for the absolute difference and Δ_{rel} for the relative difference.

		2021	ES	Δ	Δ_{rel}	Ref.
Primary energy consumption [TWh]	Natural gas	59.867	59.449	0.418	0.7%	[72]
	Oil	28.663	28.514	0.149	0.5%	[72]
	Coal & coke	3.991	4.015	-0.024	-0.6%	[72]
	Diesel	34.046	31.690	2.356	6.9%	[72]
	Gasoline ¹	69.019	69.158	-0.139	-0.2%	[72]
	Jetfuel	8.470	7.879	0.591	7.0%	[72]
	Biomass	36.719	31.962	4.757	13.0%	[83]
	Electricity imports	32.778	32.546	0.232	0.7%	[83]
	Total	273.55	265.21	8.34	3.0%	
Technologies output [TWh]	Hydro	201.25	201.492	-0.242	-0.1%	[83]
	Wind	11.122	11.456	-0.334	-3.0%	[83]
	PV	0.014	0.014	0	0.0%	[83]
GHG emissions ² [Mt CO ₂ -eq]		48.980	51.023	-2.043	-4.2%	[29]

¹Excluding marine freight and off-road mobility.

²Territorial emissions (i.e., emissions due to electricity imports are not included). Energy use only, excluding marine freight and off-road mobility.

Validation : comparaison des sorties de EnergyScope avec les données statistiques (système énergétique québécois en 2021)



Sources de référence :

[29] Gouvernement du Québec. GES 1990-2021: inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2021 et leur évolution depuis 1990. Direction des inventaires et de la gestion des halocarbures du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs Québec, Québec, 2023. OCLC: 1439257897.

[72] Statistics Canada. Supply and demand of primary and secondary energy in terajoules, annual.

[83] Johanne Whitmore and Pierre-Olivier Pineau. État de l'énergie au Québec 2024. Technical report, Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal, Montréal, 2024.

Systeme énergétique québécois en 2021

Localisation des impacts au niveau dommage

