



## Étape 2.3 : Analyse du cycle de vie Métaux et économie circulaire au Québec

### Rapport final

# Équipe de travail

- Équipe de réalisation :

- François Saunier (Associé de recherche, CIRAIG, Polytechnique Montréal)
- Fereshteh Nikfarjam (Stagiaire, CIRAIG, Polytechnique Montréal)
- Claudia Lacerda (Stagiaire, CIRAIG, Polytechnique Montréal)

- Collaboration :

- Pablo Tirado-Seco (Associé de recherche, CIRAIG, Polytechnique Montréal)
- Manuele Margni (Professeur, CIRAIG, Polytechnique Montréal)
- Valérie Patreau (Directrice des opérations, CIRAIG, Polytechnique Montréal)
- Hélène Gervais (Chargée de projets, Institut EDDEC)
- Normand Mousseau (Professeur, Université de Montréal)
- Oumarou Savadogo (Professeur, Polytechnique Montréal)

# Table des matières

- Mise en contexte et objectifs
- Champ de l'étude de l'ACV - généralités
- Modélisation spécifique par métal et résultats
  - Fer
  - Cuivre
  - Lithium
- Discussion et recommandations
- Conclusion
- Références
- Annexes

# MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIFS

# Mise en contexte

Le **ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN)** a mandaté l'Institut EDDEC pour réaliser un projet de recherche en **économie circulaire** visant à évaluer le **potentiel de circularité de trois métaux stratégiques** pour le Québec, soit le **fer**, le **cuivre** et le **lithium** de même qu'à documenter les impacts de l'industrie minière québécoise sur l'environnement. Ce rapport d'étape vise à répondre au second objectif, c'est-à-dire contribuer à documenter les impacts de l'industrie minière québécoise sur l'environnement, notamment les émissions de gaz à effet de serre, en utilisant l'analyse du cycle de vie (ACV).

La méthodologie de l'analyse du cycle de vie est d'abord brièvement rappelée puis les sources de données et quelques hypothèses clés de modélisation sont énoncées. Les résultats sont finalement présentés pour chaque métal et discutés dans une dernière partie.

# Mise en contexte

- **Méthodologie :**

Une ACV pour l'étape **d'extraction et traitement du minerai à la mine** (« du berceau à la porte de la mine ») a été initialement réalisée pour chacun des trois métaux. Les résultats de l'analyse des flux de matières ont ensuite permis à l'équipe de recherche de prioriser les **processus (activités) plus pertinents en aval (métallurgie primaire, transformation et fabrication)** pour lesquels réaliser des ACV.

Bien que la recherche se concentre sur le **périmètre québécois**, il est important de conserver une **perspective globale** pour réaliser l'ACV, afin d'éviter les déplacements d'impacts dans les recommandations de stratégies de circularité, p.ex. en délocalisant hors Québec les activités polluantes ou énergivores. Les ACV réalisées sur des activités québécoises sont donc aussi comparées lorsque possible à des activités ayant lieu ailleurs dans le monde.

# Objectifs

## • Objectif général de cette étape :

- Contribuer à documenter les impacts de l'industrie minière québécoise sur l'environnement, notamment les émissions de gaz à effet de serre, en utilisant l'analyse du cycle de vie, pour les métaux sélectionnés.

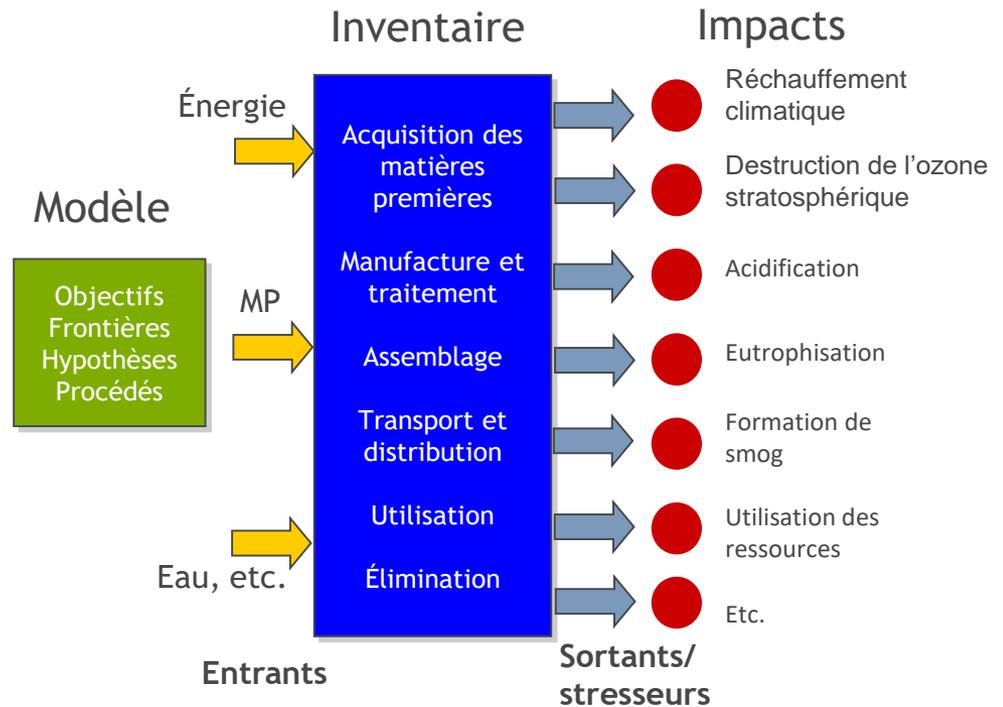
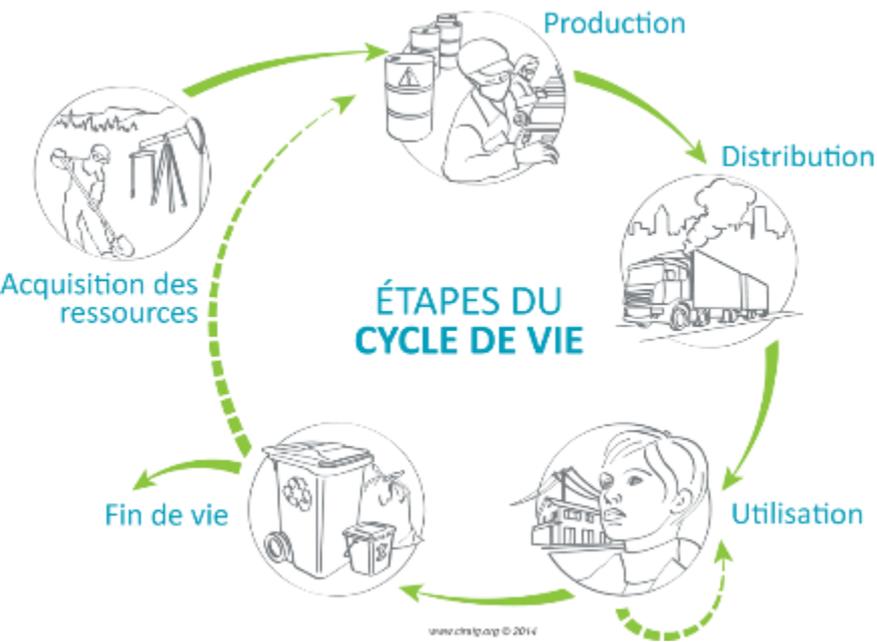
## • Objectifs spécifiques :

- Étudier le profil environnemental du berceau à la porte de la mine pour les 3 métaux au Québec ;
- Étudier le profil environnemental pour des processus (activités) de transformation et de recyclage spécifiques ;
- Développer des jeux de données destinés à la base québécoise des données d'inventaire du cycle de vie à partir des données collectées ;
- Collecter des données et modéliser les activités nécessaires à l'analyse des conséquences de la mise en place de stratégies de circularité (étape 3 à venir).

# L'analyse de cycle de vie (ACV)

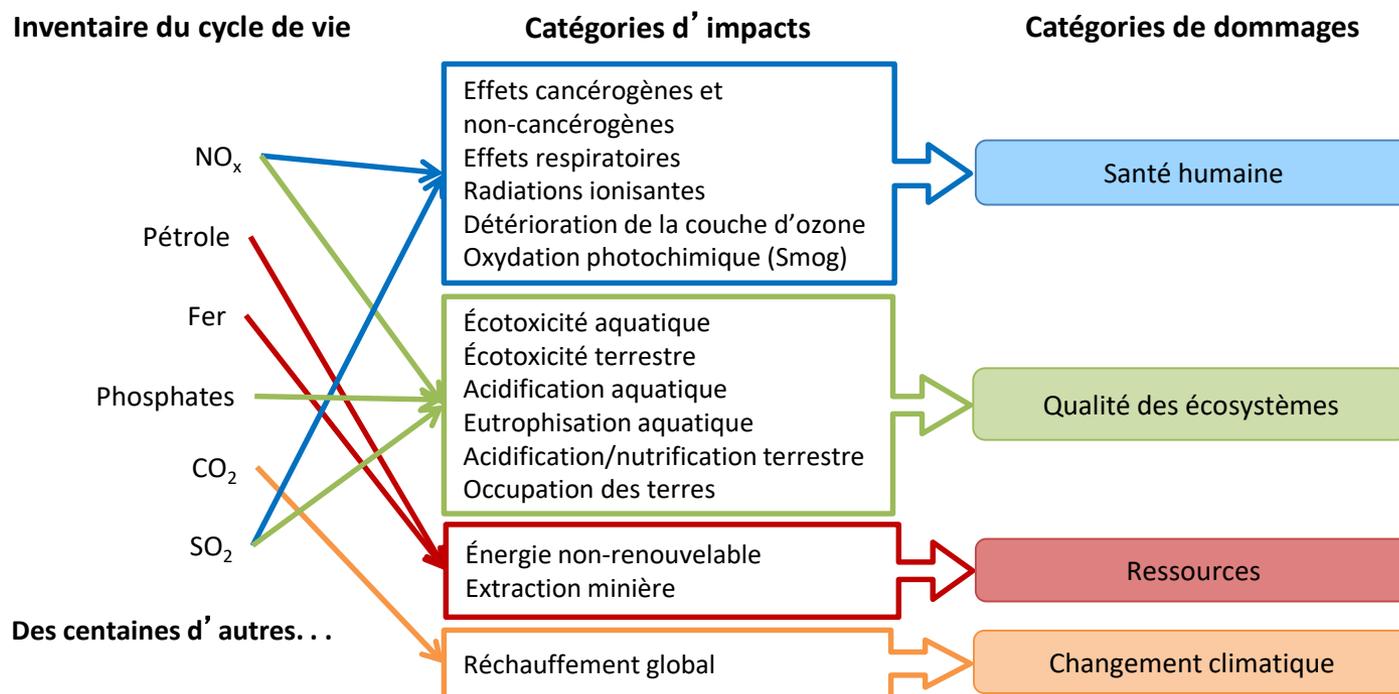
L'ACV permet de **quantifier** les **impacts environnementaux potentiels** associés à l'ensemble du cycle de vie d'un produit. C'est un outil scientifique (exercice comptable) encadré par la série 14040 des **normes ISO**.

Pour plus de détails sur la méthodologie et les enjeux associés lors de l'étude de métaux, se référer au rapport de la sous-étape 2.1.



# L'analyse de cycle de vie (ACV)

Les entrants et sortants de l'inventaire du cycle de vie sont convertis en **pointages** dans différentes catégories d'impacts potentiels. Les résultats sont présentés dans ce rapport pour les **quatre catégories de dommages** (voir annexe A), avec un accent sur la catégorie *Changement climatique* dans le corps du rapport.



➤ Exemple de la méthode IMPACT 2002+ (v2.15) utilisée pour les calculs.  
(Jolliet et al. 2003, mise à jour par Humbert et al. 2011)

# Revue des résultats

Conformément aux objectifs de l'étude, les résultats de cette étude **ne sont pas destinés à supporter des affirmations comparatives divulguées au public**. Même si une communication externe des résultats est envisagée, l'objectif de l'étude est de documenter les impacts de l'industrie minière québécoise sur l'environnement, en particulier en établissant différents profils environnementaux. Les comparaisons effectuées dans ce rapport sont basées sur des moyennes ou des données génériques, visant seulement à étoffer l'analyse et non à comparer un produit spécifique à un autre. Selon la norme ISO 14044, la **revue critique** par les pairs des résultats présentés dans ce rapport **n'est donc pas nécessaire**. Une **revue interne** des résultats a cependant été effectuée.

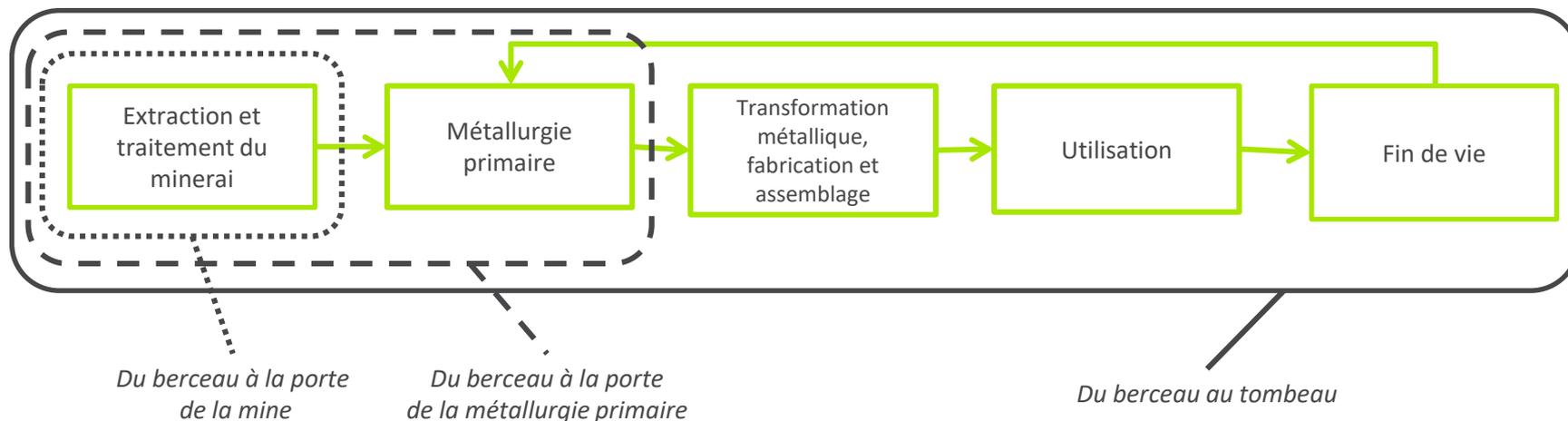
De plus, comme les données québécoises seront **soumises au comité scientifique de la base de données ecoinvent** pour inclusion dans les bases de données régionales, elles auront bénéficié de facto d'une revue par les pairs.

# CHAMP DE L'ÉTUDE DE L'ACV

## GÉNÉRALITÉS

# Frontières et unités fonctionnelles

## • Frontières de l'étude :

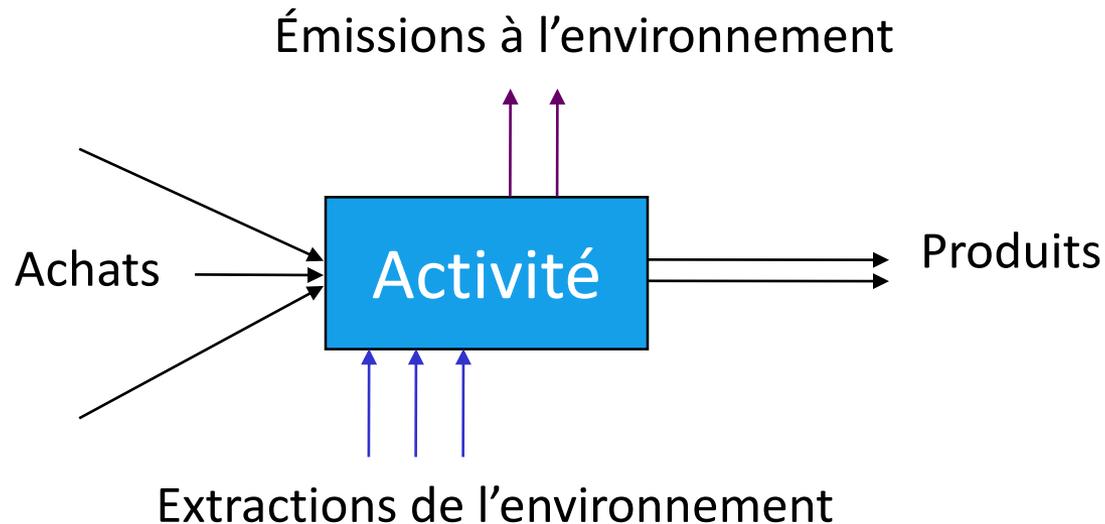


## • Unités fonctionnelles (base de comparaison des systèmes) :

- Berceau à la porte de la mine ou de la métallurgie primaire : masse de minerai ou de métal
  - Exemple : production de 1 kg de concentré de fer à 65 % au Québec
- Berceau au tombeau : basé sur la fonctionnalité du métal
  - Exemple : 1 cycle de recharge d'une batterie au lithium métal fabriquée au Québec dans une voiture électrique utilisée au Québec.

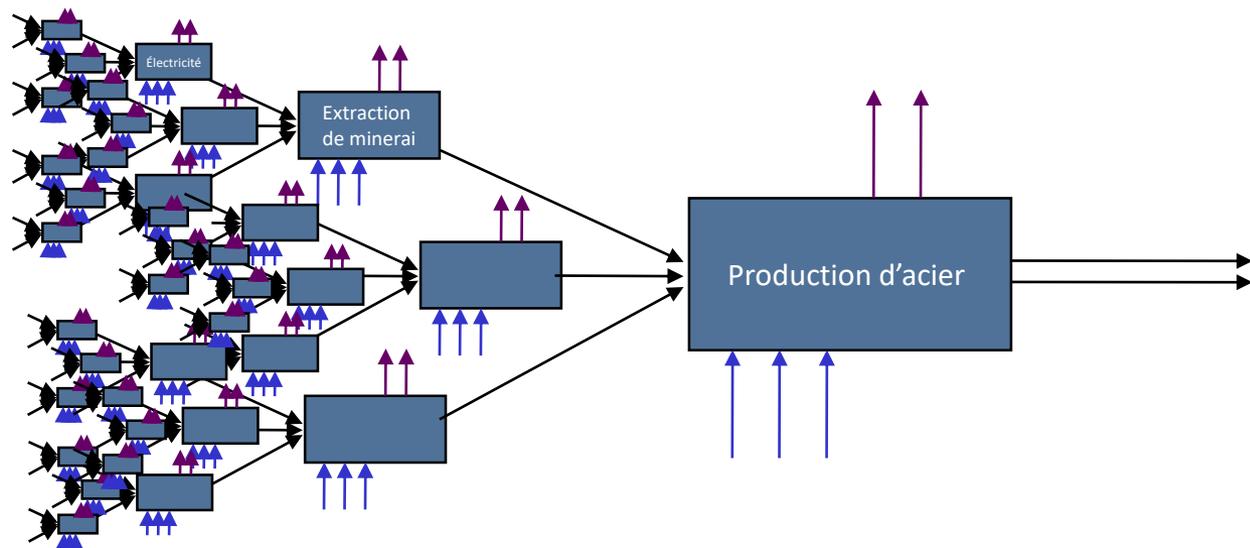
# Données nécessaires pour une ACV

Différentes **données nécessaires** à la réalisation d'une ACV sont présentées dans la figure ci-dessous et ont été collectées pour plusieurs activités lors de la réalisation de cette étude. Elles concernent les échanges **entre une activité et d'autres activités** (via les achats ou les produits) et **entre une activité et l'environnement** (via les extractions ou les émissions).

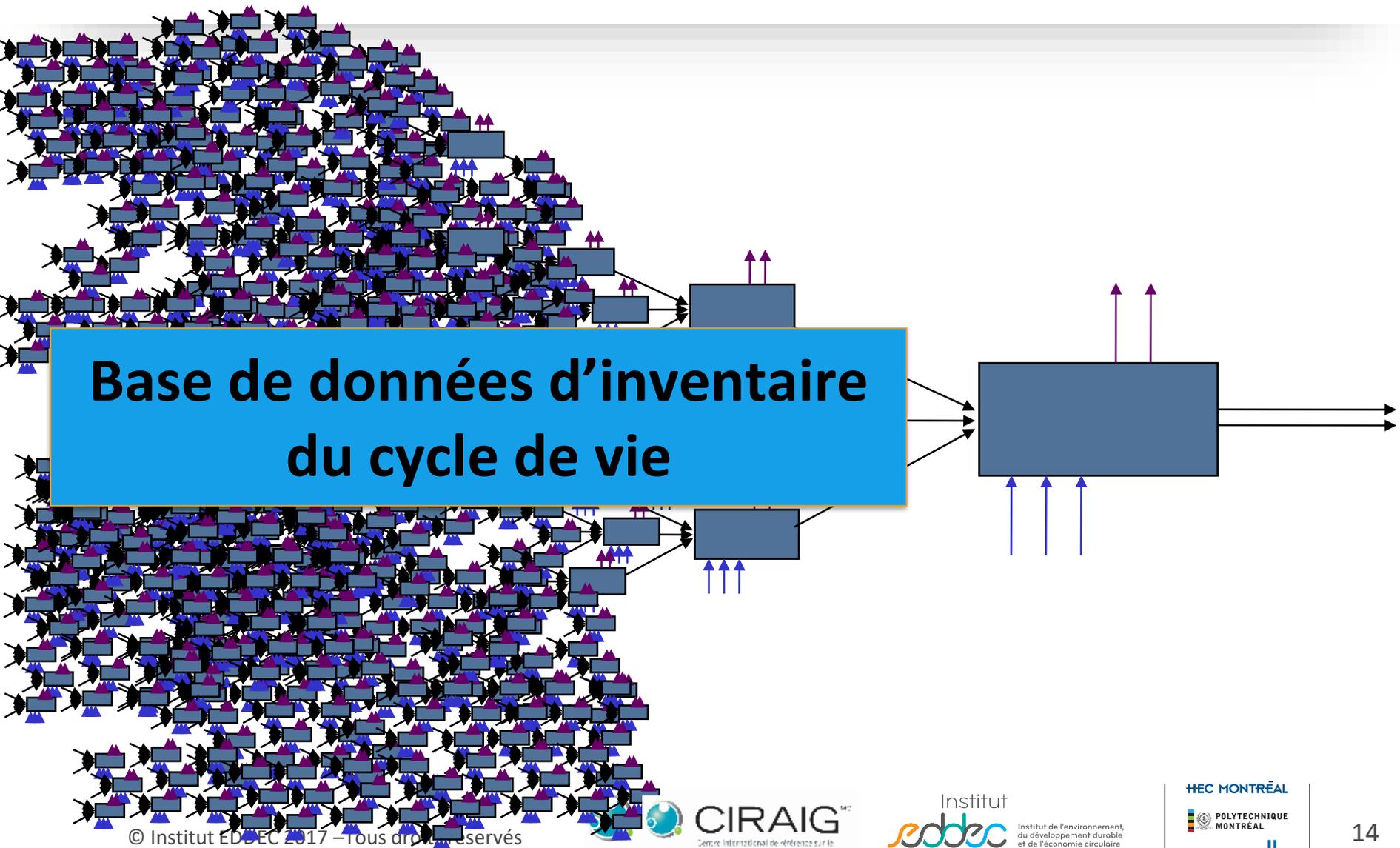


# Liens avec une BD d'inventaires du cycle de vie (BD-ICV)

Les différentes activités sont reliées entre elles au sein d'une **base de données d'inventaire du cycle de vie**. Par exemple, l'achat d'électricité utilisée dans l'activité d'extraction du minerai de fer au Québec va être relié à l'activité de production d'électricité au Québec, et le produit « concentré de fer » va être relié à l'activité de production d'acier par réduction directe.



# Liens avec une BD d'inventaires du cycle de vie (BD-ICV)



# Bases de données d'inventaire du cycle de vie

La fiabilité de la réalisation d'ACV repose sur des bases de données exhaustives et représentatives permettant de tenir compte de différents facteurs ayant une influence sur ces données d'inventaire.



- Variabilités géographiques
- Production d'électricité  
(hydroélectricité = avantage pour le Québec)
- Distances de transport
- Technologies
- Climat
- Etc.



# Sources de données

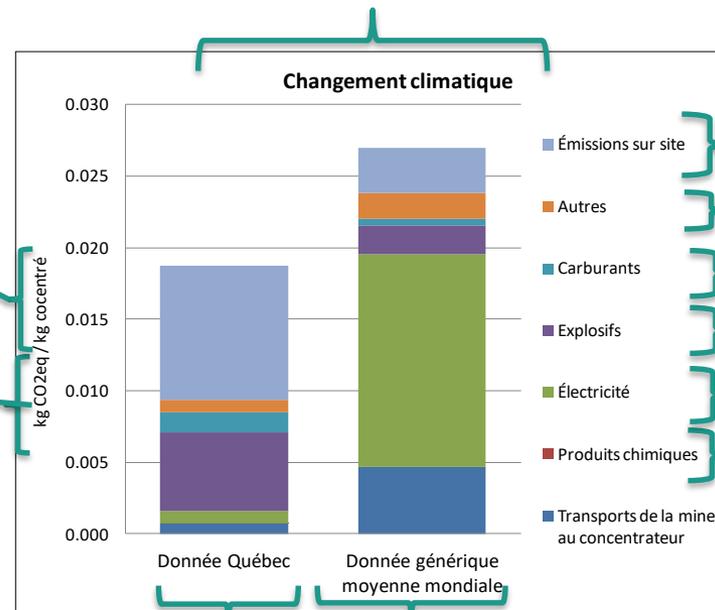
La qualité des résultats d'une ACV dépend de la qualité des données utilisées pour effectuer la modélisation. Les données utilisées dans cette étude, afin d'étudier les cycles de vie des trois métaux sélectionnés, sont de plusieurs sources :

- Lorsque disponibles, des **données spécifiques** au contexte québécois ont été collectées auprès d'entreprises présentes au Québec et œuvrant dans le cycle de vie de ces métaux.
- Lorsque ces données n'étaient pas disponibles, des **données génériques** issues de la littérature ou de la base de données d'inventaire du cycle de vie ecoinvent 3.2 (ecoinvent, 2016) ont été adaptées autant que possible au contexte québécois.
- Des **données génériques moyennes mondiales ou nord-américaines**, issues elles aussi de données de la base de données ecoinvent 3.2, ont par ailleurs été utilisées pour être comparées à des données québécoises.

# Guide de lecture des résultats

Les graphiques de présentation des résultats sont similaires à la figure ci-dessous. Le détail des différentes informations présentées est développé pour **guider le lecteur** dans l'interprétation des résultats.

Catégorie d'impact présentée  
(voir diapositive 8 pour le détail des catégories)



Impacts potentiels reliés aux émissions (combustion d'énergie ou émissions de procédés) au sein de l'activité

Autres entrants, peu contributeurs

Impacts potentiels reliés à la production des carburants utilisés dans l'activité analysée

Impacts potentiels reliés à la production des explosifs utilisés dans l'activité analysée

Impacts potentiels reliés à la production de l'électricité provenant du réseau et utilisée dans l'activité analysée

Impacts potentiels reliés à la production des produits chimiques utilisés dans l'activité analysée

Unité fonctionnelle pour ce système

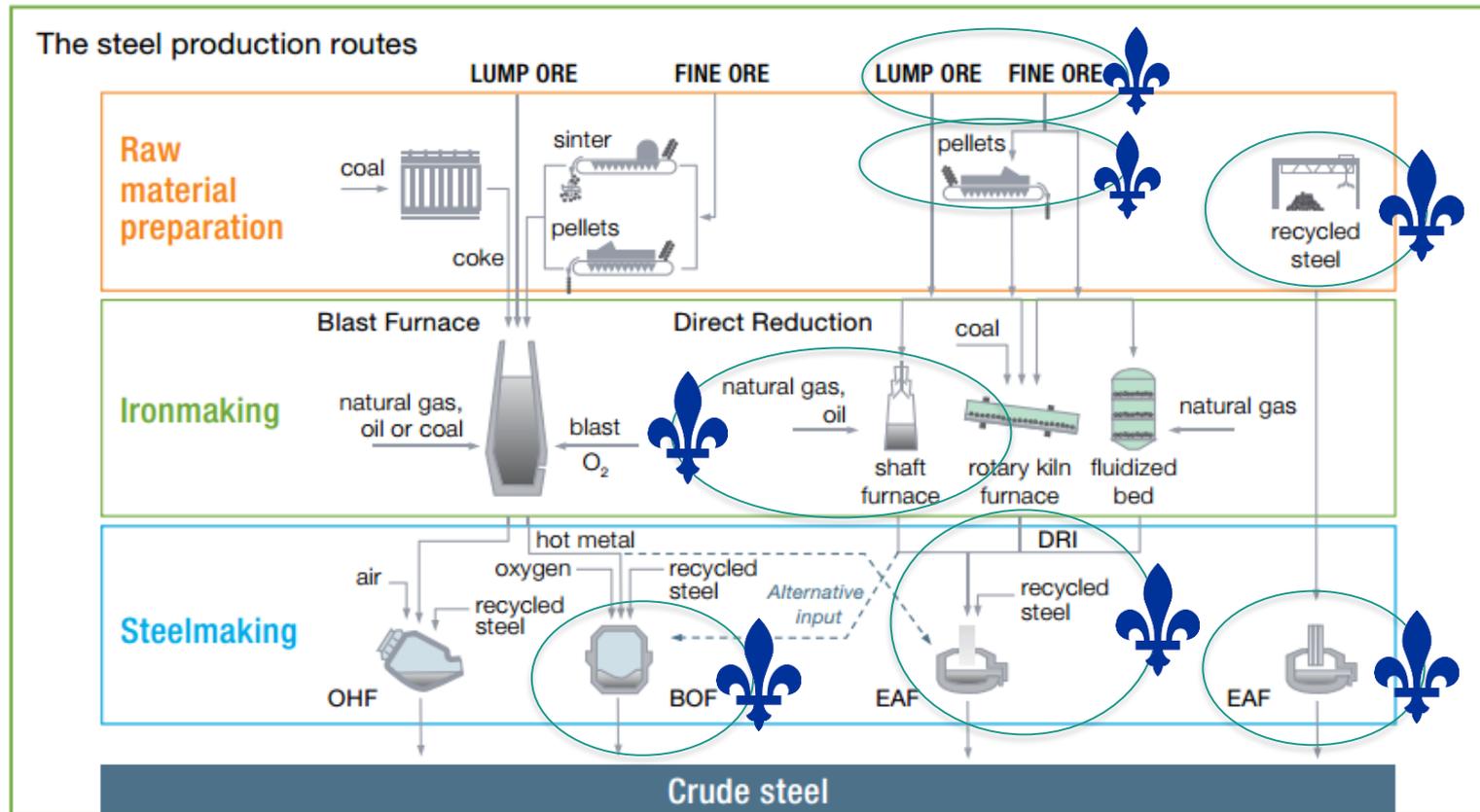
Unité de référence pour l'indicateur considéré

Systèmes étudiés

# MODÉLISATION SPÉCIFIQUE ET RÉSULTATS FER

# Le cycle de vie du fer au Québec

L'étude du fer s'est concentrée sur l'**extraction de minerai de fer** et la **production d'acier**, qui est le principal sous-produit dans lequel ce métal se retrouve (voir résultats de l'AFM). Toutes les voies existantes de production d'acier ne se retrouvent pas au Québec. La figure ci-dessous illustre les activités présentes **sur le sol québécois** (🇫🇷).



# Champ d'étude de l'ACV du fer

Trois parties du cycle de vie du fer ont été étudiées. Les frontières, unités fonctionnelles et options comparées pour ces trois analyses sont décrites dans le tableau suivant.

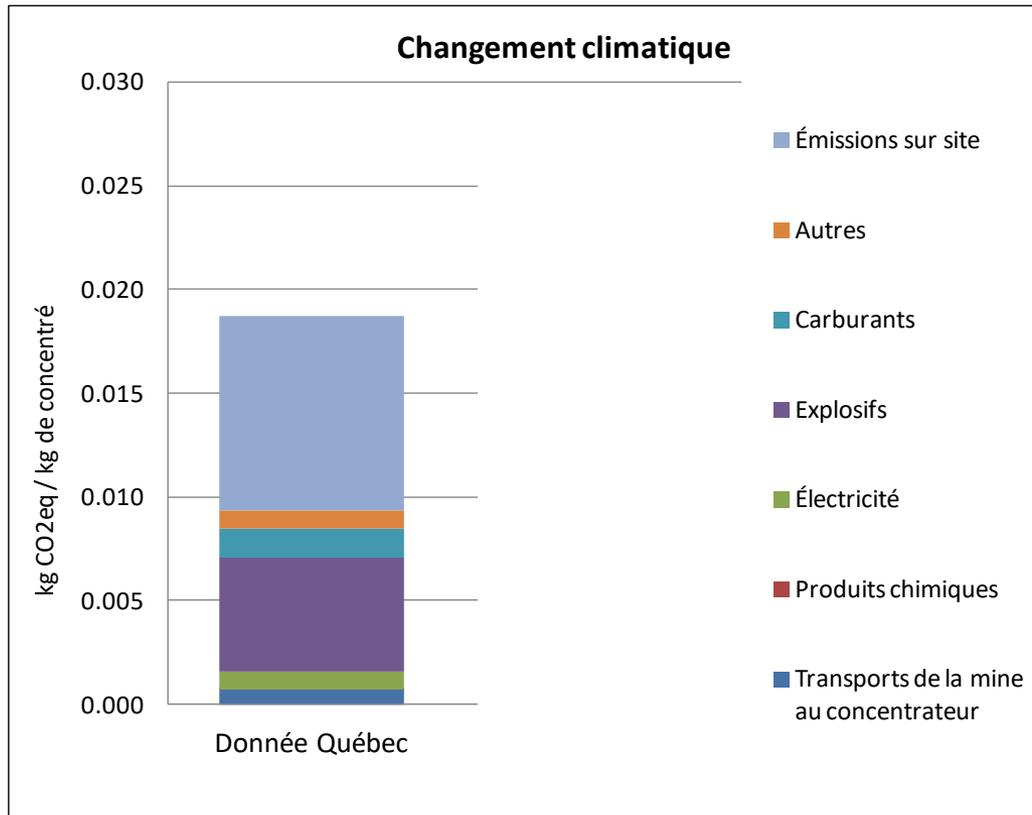
Métal	Frontières	Unité fonctionnelle	Systèmes étudiés
Fer	Du berceau à la porte de la mine	Production de 1 kg de concentré de minerai de fer à 65 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentré de fer produit au Québec (données collectées)</li> <li>• Concentré de fer moyen mondial (données génériques)</li> </ul>
	Du berceau à la porte de la métallurgie primaire	Production de 1 kg de brame d'acier par voie primaire (à partir de minerai)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction directe au Québec (données collectées)</li> <li>• Haut fourneau moyen mondial (données génériques)</li> </ul>
		Production de 1 kg de brame d'acier par voie secondaire (à partir de ferraille)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Four à arc électrique au Québec (données collectées)</li> <li>• Four à arc électrique moyen mondial (données génériques)</li> </ul>

# Résultats

## Production de concentré de fer

- La première activité analysée est l'extraction du minerai du sol et sa concentration.

### 1. Donnée Québec



# Résultats

## Production de concentré de fer

- La première activité analysée est l'**extraction du minerai du sol et sa concentration**.

1. Donnée Québec

➤ Les émissions sur site sont le principal contributeur dans la catégorie d'impact *Changement climatique*. Elles sont liées à la combustion de carburants à la mine et au concentrateur, ainsi qu'à l'utilisation d'explosifs.

Parmi les entrants consommés, les productions d'explosifs et de carburants (diesel, mazout) sont aussi d'importants contributeurs.

➤ Dans les autres catégories d'impact, présentées en annexe A, les conclusions sont similaires. Les principaux contributeurs pour les catégories *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* sont les émissions sur site, alors que pour la catégorie *Ressources*, ce sont la production des carburants et des explosifs.

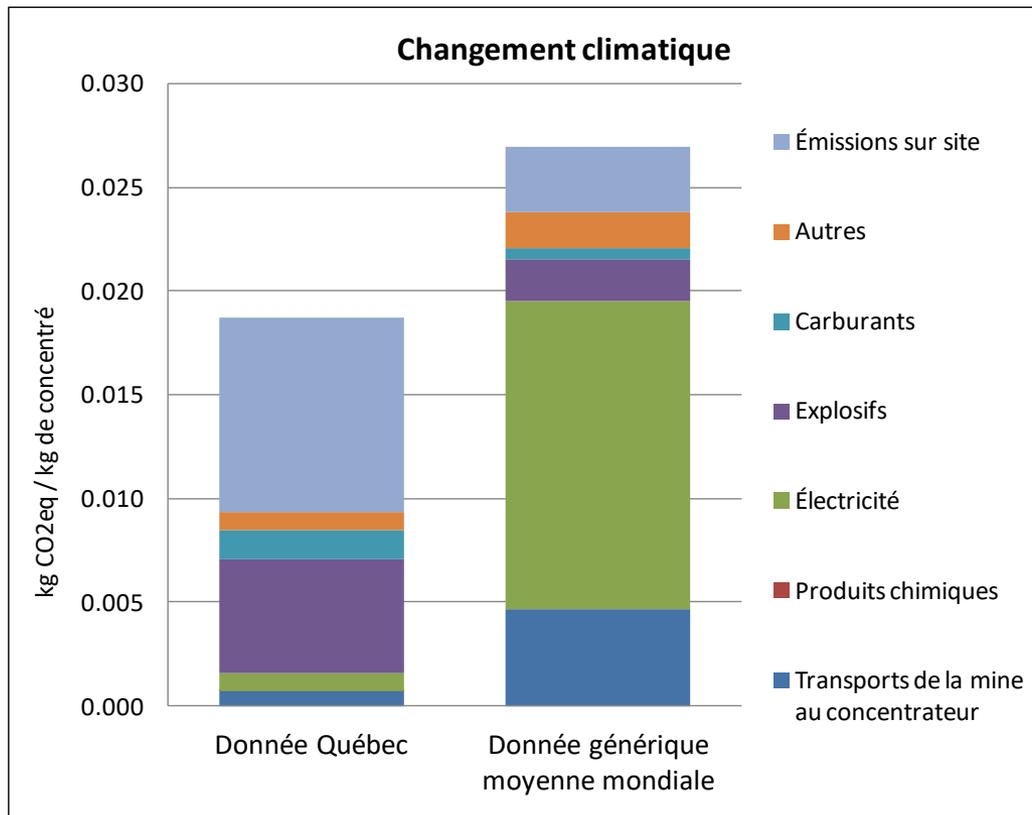
# Résultats

## Production de concentré de fer

- La première activité analysée est l'**extraction du minerai du sol et sa concentration**.

Deux données de production de concentré de fer sont ici comparées :

- Donnée Québec
- Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)



# Résultats

## Production de concentré de fer

- La première activité analysée est l'**extraction du minerai du sol et sa concentration**.

Deux données de production de concentré de fer sont ici comparées :

1. Donnée Québec
2. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)

- La principale différence entre les deux données provient de l'électricité, car même si les quantités consommées sont similaires, la production de l'électricité utilisée dans la donnée moyenne mondiale est plus impactante que celle du Québec.
- La consommation de carburants et les émissions sur site associées sont plus importantes dans la donnée Québec que dans la donnée moyenne mondiale.
- Les résultats sont similaires pour la catégorie d'impact *Ressources*. Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), la contribution des émissions sur site est très importante dans la donnée générique moyenne mondiale, contribuant à une différence significative entre les deux données.

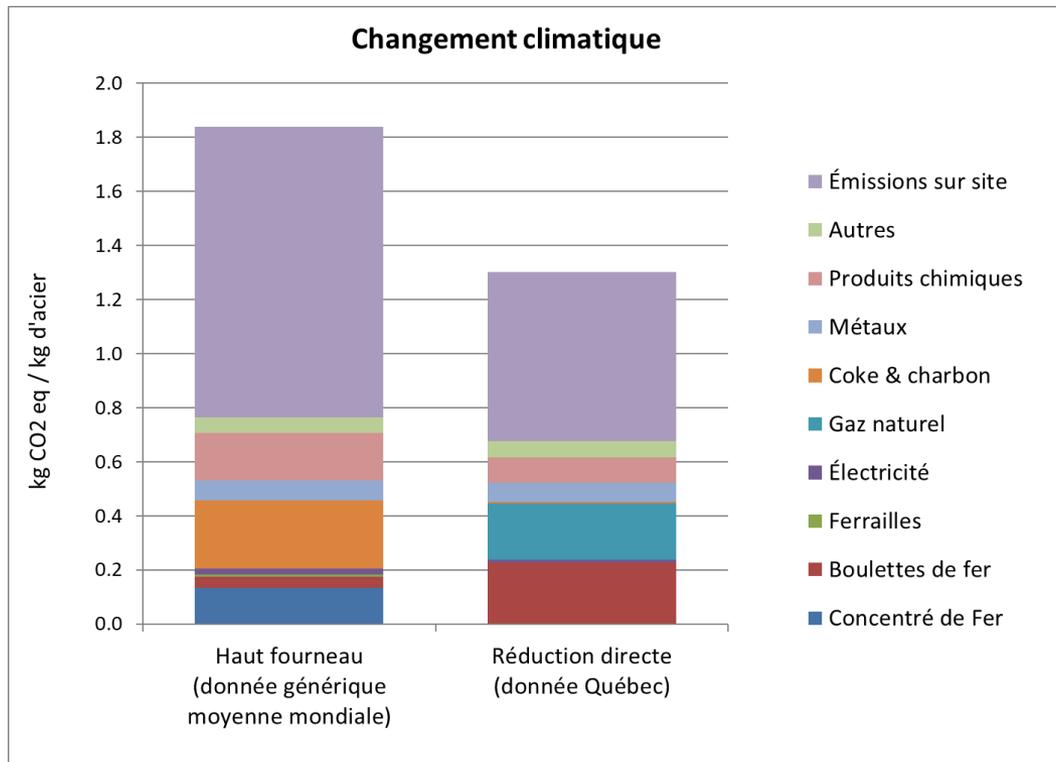
# Résultats

## Production d'acier

- La seconde activité analysée est la production d'acier par voie primaire (à partir de minerai) ou par voie secondaire (par recyclage de ferraille).

Deux données de production d'acier par voie primaire sont d'abord comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2), représentative de la production d'acier par haut fourneau.
2. Donnée Québec, où le minerai est réduit en présence de gaz naturel, puis transformé en acier dans un four à arc électrique.



# Résultats

## Production d'acier

- La seconde activité analysée est la **production d'acier par voie primaire** (à partir de minerai) ou **par voie secondaire** (par recyclage de ferraille).

Deux données de production d'acier par voie primaire sont d'abord comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2), représentative de la production d'acier par haut fourneau.
  2. Donnée Québec, où le minerai est réduit en présence de gaz naturel, puis transformé en acier dans un four à arc électrique.
- La principale différence entre les deux données provient des entrants utilisés pour la production d'acier : dans le cas du haut fourneau, les principaux entrants sont le minerai de fer et le charbon, alors que pour la réduction directe, les principaux entrants sont des boulettes de minerai de fer et du gaz naturel. Leurs contributions sont similaires pour la catégorie *Changement climatique*. La contribution des émissions sur site (émissions de combustion ou de procédé) est légèrement inférieure pour la donnée de réduction directe.
- Pour la catégorie d'impact *Ressources* (présentée en Annexe A), les principaux contributeurs sont les ressources fossiles utilisées pour transformer le minerai en acier (respectivement le charbon et le gaz naturel). Les scores totaux sont similaires pour les deux options.

- Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), les contributeurs diffèrent, mais les scores sont similaires pour deux options comparées, compte tenu des incertitudes associées.

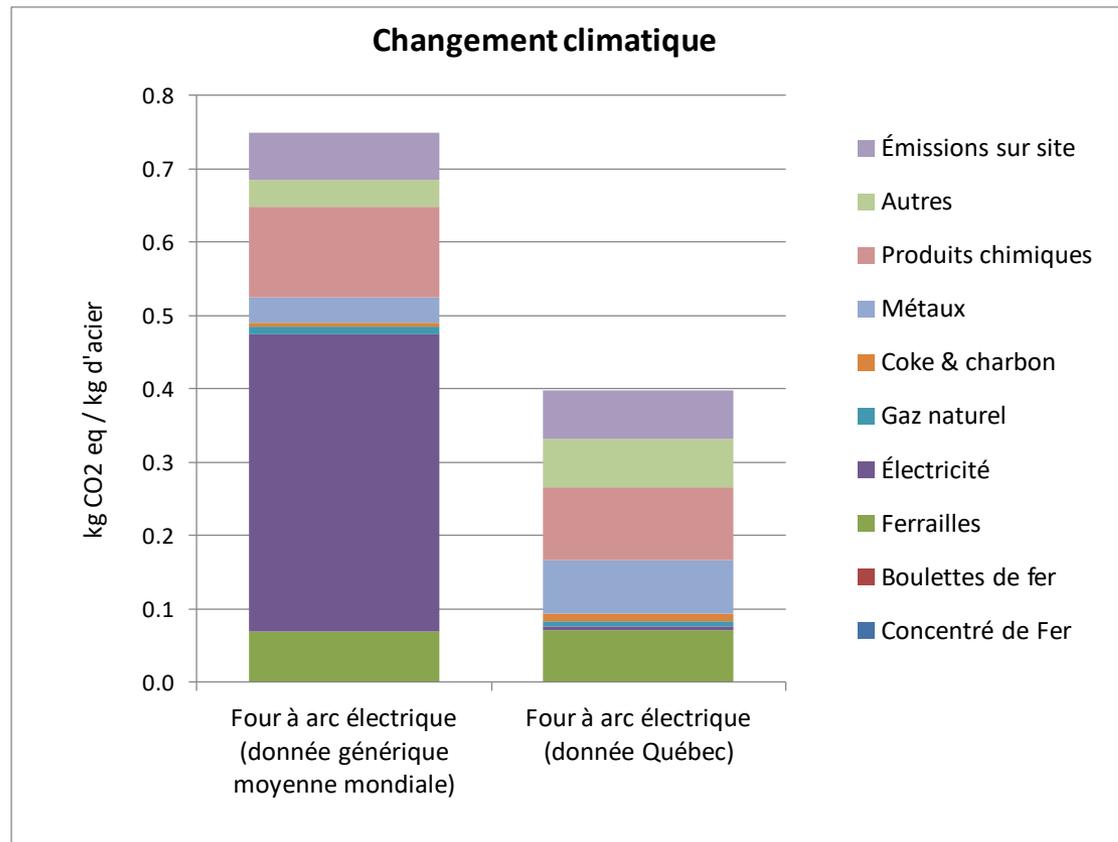
# Résultats

## Production d'acier

- La seconde activité analysée est la production d'acier par voie primaire (à partir de minerai) ou par voie secondaire (par recyclage de ferraille).

Deux données de production d'acier par voie secondaire (recyclage de ferraille via un four à arc électrique) sont ici comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
2. Donnée Québec



# Résultats

## Production d'acier

- La seconde activité analysée est la **production d'acier par voie primaire** (à partir de minerai) ou **par voie secondaire** (par recyclage de ferraille).

Deux données de production d'acier par voie secondaire (recyclage de ferraille via un four à arc électrique) sont ici comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
2. Donnée Québec

➤ La principale différence entre les deux données provient de l'électricité, car même si les quantités consommées sont similaires, la production de l'électricité utilisée dans la donnée moyenne mondiale est plus impactante que celle du Québec.

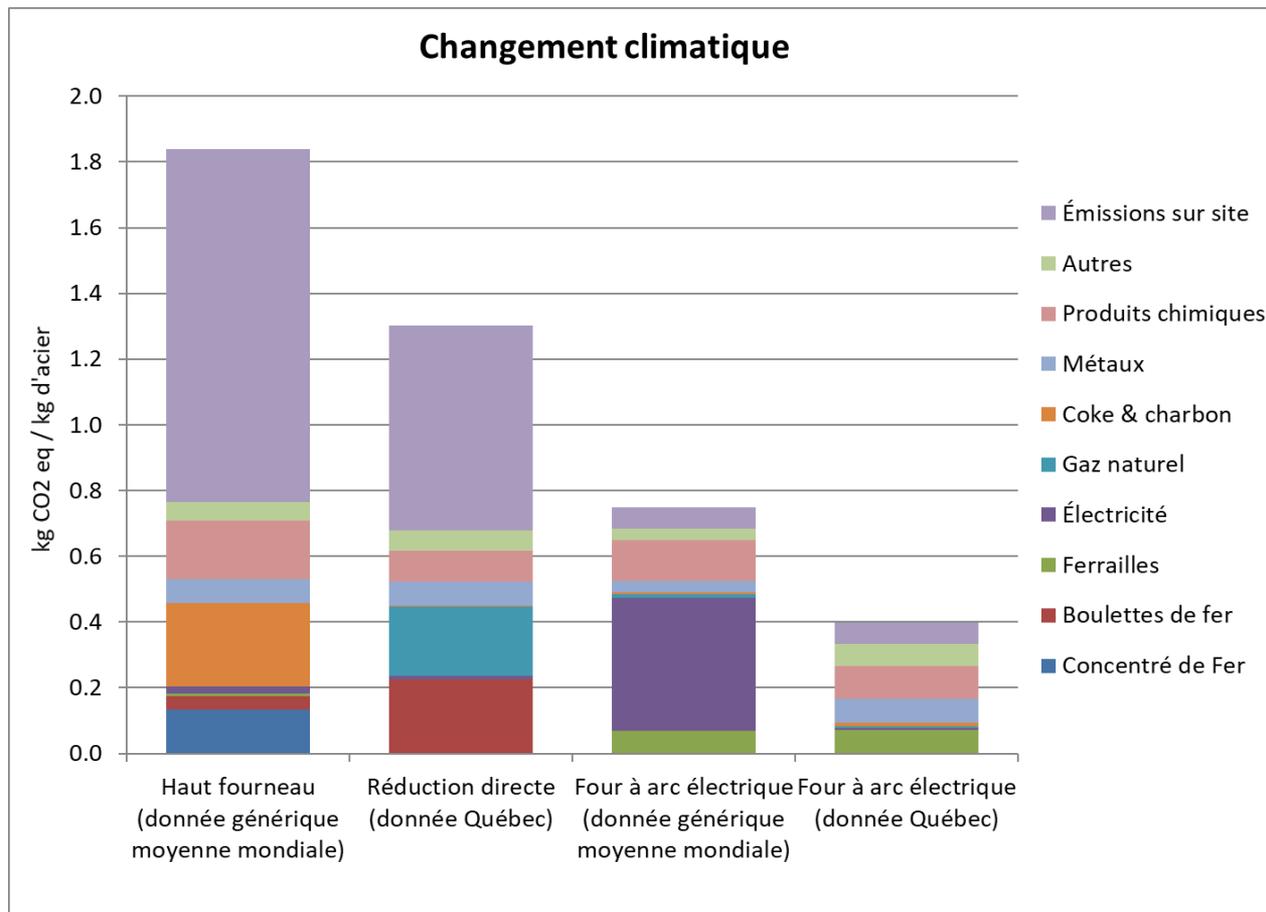
➤ Les résultats sont similaires pour les catégories d'impact *Ressources*, *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A). La principale différence entre les deux options est la contribution plus importante de l'électricité dans la donnée moyenne mondiale.

# Résultats

## Production d'acier

- La seconde activité analysée est la production d'acier par voie primaire (à partir de minerai) ou par voie secondaire (par recyclage de ferraille).

Les quatre données présentées précédemment sont ici présentées ensemble.



# Résultats

## Production d'acier

- La seconde activité analysée est la production d'acier par voie primaire (à partir de minerai) ou par voie secondaire (par recyclage de ferraille).

Les quatre données présentées précédemment sont ici présentées ensemble.

- La production par voie secondaire (recyclage de ferraille dans un four à arc électrique) est plus avantageuse que la voie primaire.

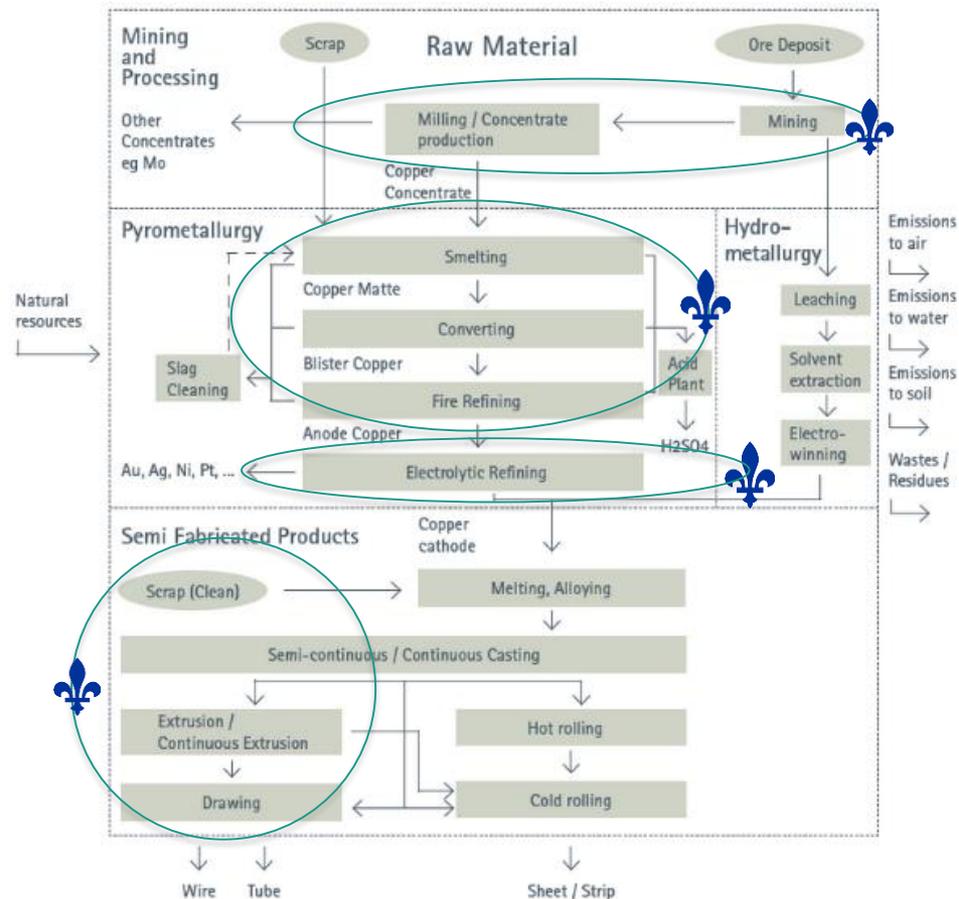
La principale différence provient des faibles émissions sur site pour la voie secondaire, ainsi que l'utilisation de ferraille à la place de minerai ou de boulettes comme entrant de fer.

- Les résultats sont similaires pour la catégorie d'impact *Ressources*. Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), les options ne sont pas différenciables compte tenu des incertitudes associées à ces catégories.

# MODÉLISATION SPÉCIFIQUE ET RÉSULTATS CUIVRE

# Le cycle de vie du cuivre au Québec

L'étude du cuivre s'est concentrée sur l'extraction de minerai de cuivre et la production de cathodes de cuivre, qui est le principal sous-produit dans lequel ce métal se retrouve (voir résultats de l'AFM). Toutes les voies existantes de production de cuivre ne se retrouvent pas au Québec. La figure ci-dessous illustre les activités présentes sur le sol québécois (☘).



# Le cycle de vie du cuivre au Québec

- Seules des **données primaires** ont été collectées pour les **activités d'extraction minière au Québec**. Le cuivre y est extrait en parallèle de plusieurs autres métaux (nickel, zinc, ...). Une allocation des activités d'extraction et de concentration a donc été effectuée sur une base massique entre ces différents coproduits.
- Les données relatives **aux étapes de métallurgie primaire** (anodes, cathodes) **et de fabrication** (câbles, ...) n'ont pu être collectées auprès des entreprises impliquées dans ces étapes au Québec. Les analyses ont donc été effectuées à partir de **données génériques contextualisées pour le Québec**, **ce qui limite la portée des conclusions qui peuvent en être tirées**.

# Champ d'étude de l'ACV du cuivre

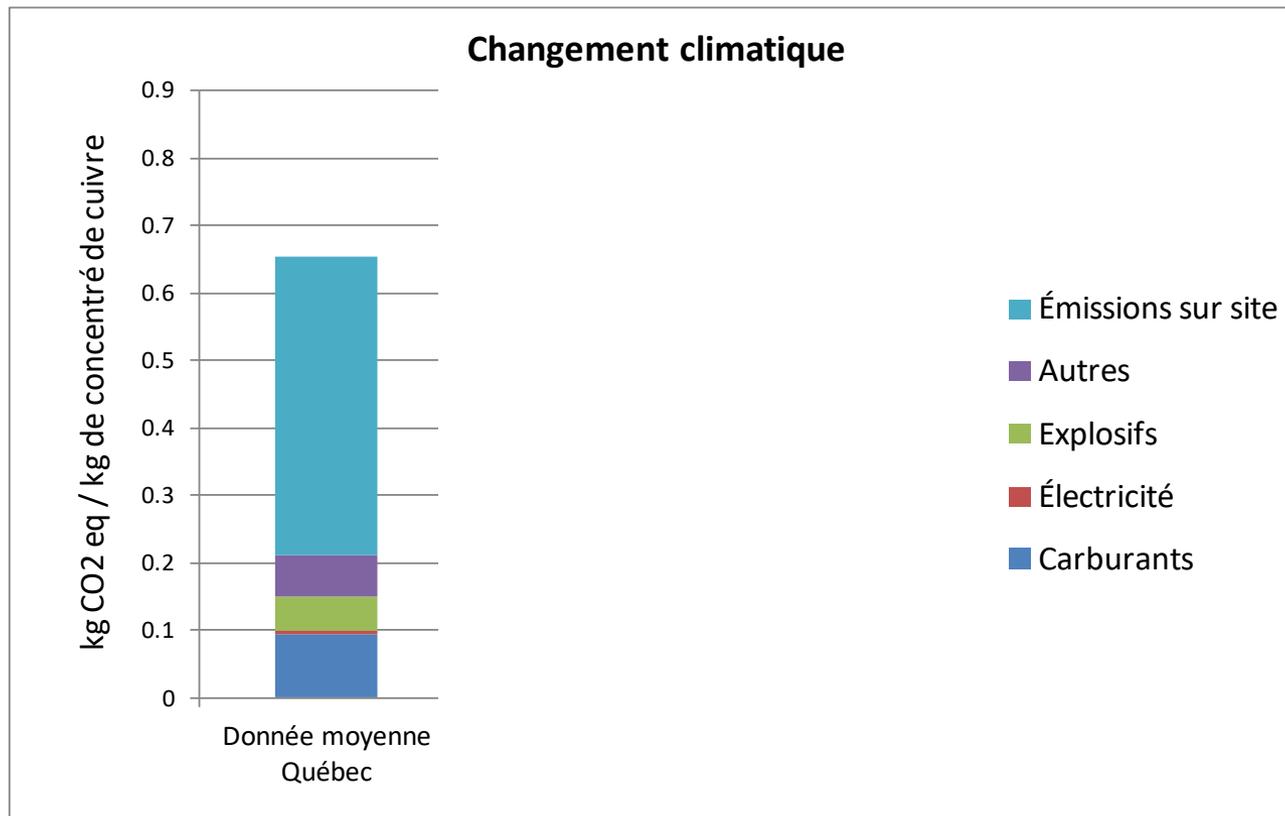
Trois parties du cycle de vie du cuivre ont été étudiées. Les frontières, unités fonctionnelles et options comparées pour ces trois analyses sont décrites dans le tableau suivant.

Métal	Frontières	Unité fonctionnelle	Systèmes étudiés
Cuivre	Du berceau à la porte de la mine	Production de 1 kg de concentré de cuivre à 29 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentré de cuivre moyen mondial (moyenne de plusieurs données génériques)</li> <li>• Concentré de cuivre moyen Amérique du Nord (données génériques)</li> <li>• Concentré de cuivre produit au Québec (moyenne de données collectées)</li> </ul>
	Du berceau à la porte de la métallurgie primaire	Production de 1 kg de cathode de cuivre par voie primaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cathode de cuivre moyenne mondiale (moyenne de plusieurs données génériques)</li> <li>• Cathode de cuivre moyenne Amérique du Nord (données génériques)</li> <li>• Cathode de cuivre produite au Québec (données génériques adaptées)</li> </ul>
	Du berceau à la porte de la fabrication (dans un câble)	Production de 1 kg de câble de cuivre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Câble de cuivre moyen mondial (données génériques)</li> <li>• Câble de cuivre moyen produit au Québec (données génériques adaptées)</li> </ul>

# Résultats

## Production de concentré de cuivre

- La première activité analysée est l'**extraction du minerai du sol et sa concentration**.
1. Donnée Québec moyenne (moyenne de données collectées pour plusieurs mines produisant du concentré de cuivre au Québec)



# Résultats

## Production de concentré de cuivre

- La première activité analysée est l'**extraction du minerai du sol et sa concentration**.
  1. Donnée Québec moyenne (moyenne de données collectées pour plusieurs mines produisant du concentré de cuivre au Québec)
    - Les émissions sur site sont le principal contributeur dans la catégorie d'impact *Changement climatique*. Elles sont liées à la combustion de carburants à la mine et au concentrateur, ainsi qu'à l'utilisation d'explosifs.  
Parmi les entrants consommés, les productions de carburants (diesel, mazout, propane) sont aussi d'importants contributeurs.
    - Dans les autres catégories d'impact, présentées en annexe A, les conclusions sont similaires. Les principaux contributeurs pour les catégories *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* sont les émissions sur site, alors que pour la catégorie *Ressources* ce sont la production des carburants et des explosifs.

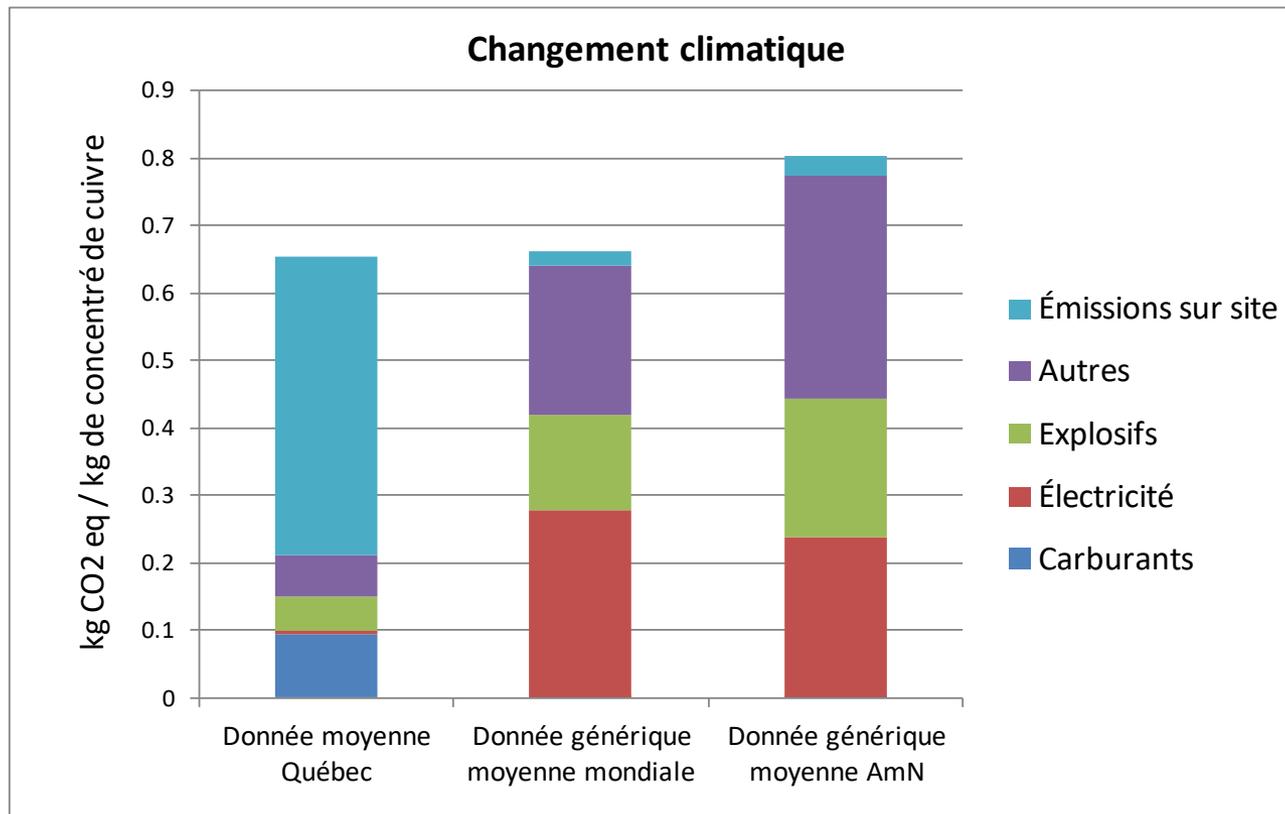
# Résultats

## Production de concentré de cuivre

- La première activité analysée est l'**extraction du minerai du sol et sa concentration**.

Trois données de production de concentré de cuivre sont ici comparées :

1. Donnée Québec moyenne (moyenne de données collectées pour plusieurs mines produisant du concentré de cuivre au Québec)
2. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
3. Donnée générique moyenne Amérique du Nord (tirée de ecoinvent v3.2)



# Résultats

## Production de concentré de cuivre

- La première activité analysée est l'**extraction du minerai du sol et sa concentration**.

Trois données de production de concentré de cuivre sont ici comparées :

1. Donnée Québec moyenne (moyenne de données collectées pour plusieurs mines produisant du concentré de cuivre au Québec)
2. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
3. Donnée générique moyenne Amérique du Nord (tirée de ecoinvent v3.2)

➤ La consommation de carburants (diesel, propane) est plus importante dans la donnée moyenne québécoise (pour le chauffage d'air, la production d'électricité sur le site, ...), ce qui est dû au contexte québécois où plusieurs mines sont dans des régions froides et hors de portée du réseau électrique. Dans les données génériques moyennes, l'électricité consommée sur site provient plutôt du réseau électrique et les consommations de carburants sont faibles.

➤ Les autres entrants (explosifs, ...) sont très variables selon les données comparées.

➤ Les résultats sont similaires pour la catégorie d'impact *Ressources*. Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), les émissions sur site sont le principal contributeur au profil environnemental du concentré de cuivre.

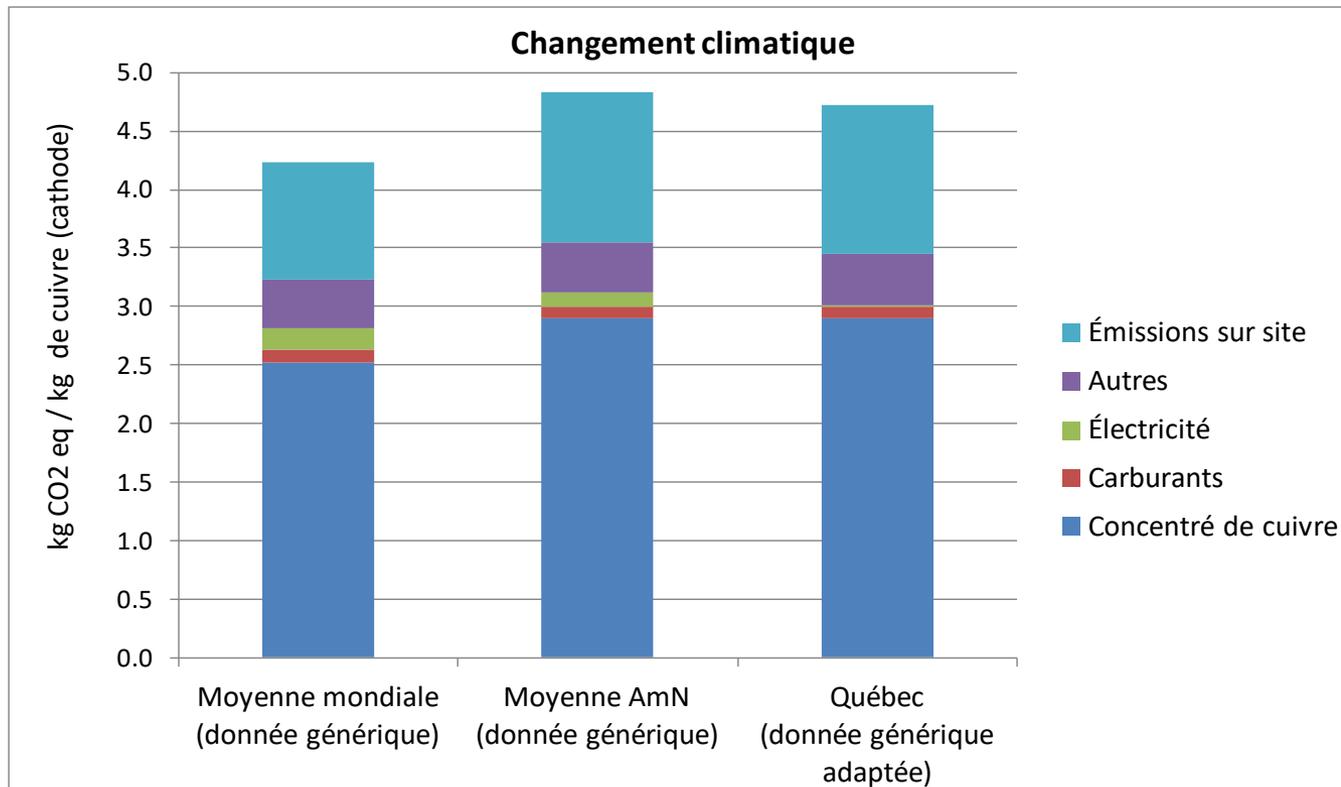
# Résultats

## Production de cathodes de cuivre

- La deuxième activité analysée est la **production de cathode de cuivre par voie primaire** (100 % à partir de minerai).

Trois données de production de cathodes de cuivre par pyrométallurgie sont ici comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
2. Donnée générique moyenne Amérique du Nord (AmN) (tirée de ecoinvent v3.2)
3. Donnée générique, adaptée pour le Québec (tirée de ecoinvent v3.2)



# Résultats

## Production de cathodes de cuivre

- La deuxième activité analysée est la **production de cathode de cuivre par voie primaire** (100 % à partir de minerai).

Trois données de production de cathodes de cuivre par pyrométallurgie sont ici comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
2. Donnée générique moyenne Amérique du Nord (AmN) (tirée de ecoinvent v3.2)
3. Donnée générique, adaptée pour le Québec (tirée de ecoinvent v3.2)

- L'approvisionnement en concentré de cuivre est le principal contributeur au profil environnemental des trois systèmes étudiés.
- Les résultats sont similaires pour la donnée Québec et la donnée moyenne Amérique du Nord, car l'électricité est un faible contributeur dans la catégorie d'impact *Changement climatique*. L'approvisionnement en minerai est similaire entre ces deux données, car les concentrés de cuivre utilisés au Québec pour produire des cathodes de cuivre proviennent en majorité de l'extérieur de la province.
- Les résultats sont similaires pour la catégorie d'impact *Ressources*, avec néanmoins une contribution plus importante de l'approvisionnement en carburants. Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), les options ne sont pas différenciables compte tenu des incertitudes associées à ces catégories.
- Les résultats pour le Québec sont à relativiser compte tenu de l'absence de données spécifiques collectées pour la technologie utilisée au Québec.

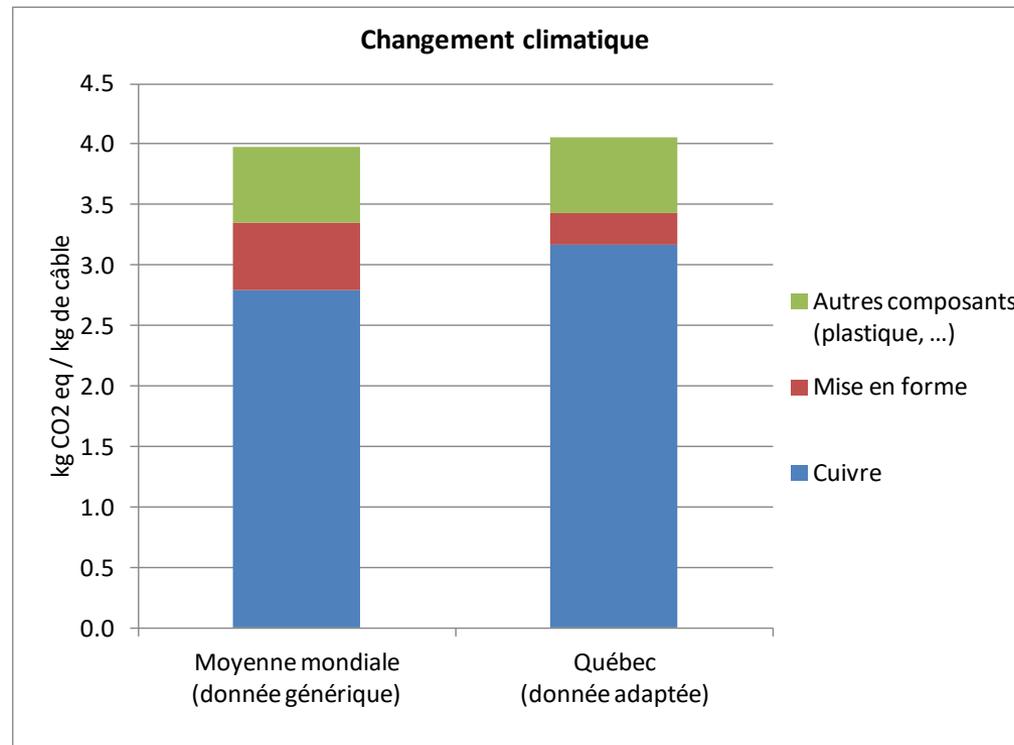
# Résultats

## Production d'un câble de cuivre

- La troisième activité analysée est la **production d'un câble de cuivre**.

Deux données de production de câble de cuivre sont ici comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
2. Donnée générique, adaptée pour le Québec (tirée de ecoinvent v3.2)



# Résultats

## Production d'un câble de cuivre

- La troisième activité analysée est la **production d'un câble de cuivre**.

Deux données de production de câble de cuivre sont ici comparées :

1. Donnée générique moyenne mondiale (tirée de ecoinvent v3.2)
2. Donnée générique, adaptée pour le Québec (tirée de ecoinvent v3.2)

- L'approvisionnement en cuivre est le principal contributeur dans la catégorie *Changement climatique*. La masse de cuivre représente environ 66 % de la masse du câble.
- La production du câble au Québec permet une réduction des impacts associés à l'utilisation d'électricité dans la mise en forme. Le cuivre produit au Québec ayant néanmoins un impact potentiel légèrement plus élevé que le cuivre moyen mondial (voir diapositive précédente), les deux systèmes comparés sont au final équivalents.
- Les résultats sont similaires pour la catégorie d'impact *Ressources*. Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), l'approvisionnement en cuivre est le contributeur majoritaire. Les options ne sont pas différenciables compte tenu des incertitudes associées à ces catégories.
- Les résultats pour le Québec sont à relativiser compte tenu de l'absence de données spécifiques collectées pour l'approvisionnement en cuivre du Québec.

# MODÉLISATION SPÉCIFIQUE ET RÉSULTATS LITHIUM

# Le cycle de vie du lithium au Québec

Les deux principales sources d'extraction de lithium du sol terrestre sont les **saumures** ou les **minerais** (comme par exemple le spodumène). Les saumures de lithium sont actuellement la source la plus importante de lithium dans le monde. Les plus grandes concentrations de lithium se trouvent dans des lacs salés à haute altitude en Bolivie, en Argentine, au Chili, au Tibet et en Chine. La saumure est pompée du sol et concentrée au soleil, pour ensuite être transformée en produits intermédiaires (carbonate de lithium, hydroxyde de lithium, ...).

**Au Québec**, plusieurs activités d'extraction de lithium **sous forme de spodumène** sont actuellement **en développement**, mais aucune d'elles ne présente des activités régulières sur les dernières années. Il n'a donc pas été possible de collecter des données suffisantes à la modélisation de cette activité. Des données génériques ont donc été utilisées et contextualisées dès que possible. Cette filière est néanmoins en développement et plus d'informations devraient être disponibles dans les prochaines années. Parmi les mines prévues, celle de Nemaska Lithium vise à extraire un minerai d'une teneur moyenne de 0,71 % Li et celle de Lithium Amérique du Nord un minerai d'une teneur moyenne de 0,43% Li (Magnan, 2016).

Malgré l'absence d'activités d'extraction actuellement en opérations régulières au Québec, **des activités de fabrication utilisant du lithium sont présentes**, comme par exemple la fabrication de cathodes de lithium fer phosphate (LiFePO<sub>4</sub>) par l'entreprise Johnson Matthey ou de batteries lithium-métal-polymère (LMP) par l'entreprise Solutions Bleues Canada. L'exemple de la batterie, dont le LiFePO<sub>4</sub> est un des entrants dans sa fabrication, est présentée dans cette étude.

# Champ d'étude de l'ACV du Lithium

Trois parties du cycle de vie du lithium ont été étudiées. Les frontières, unités fonctionnelles et options comparées pour ces trois analyses sont décrites dans la tableau suivant.

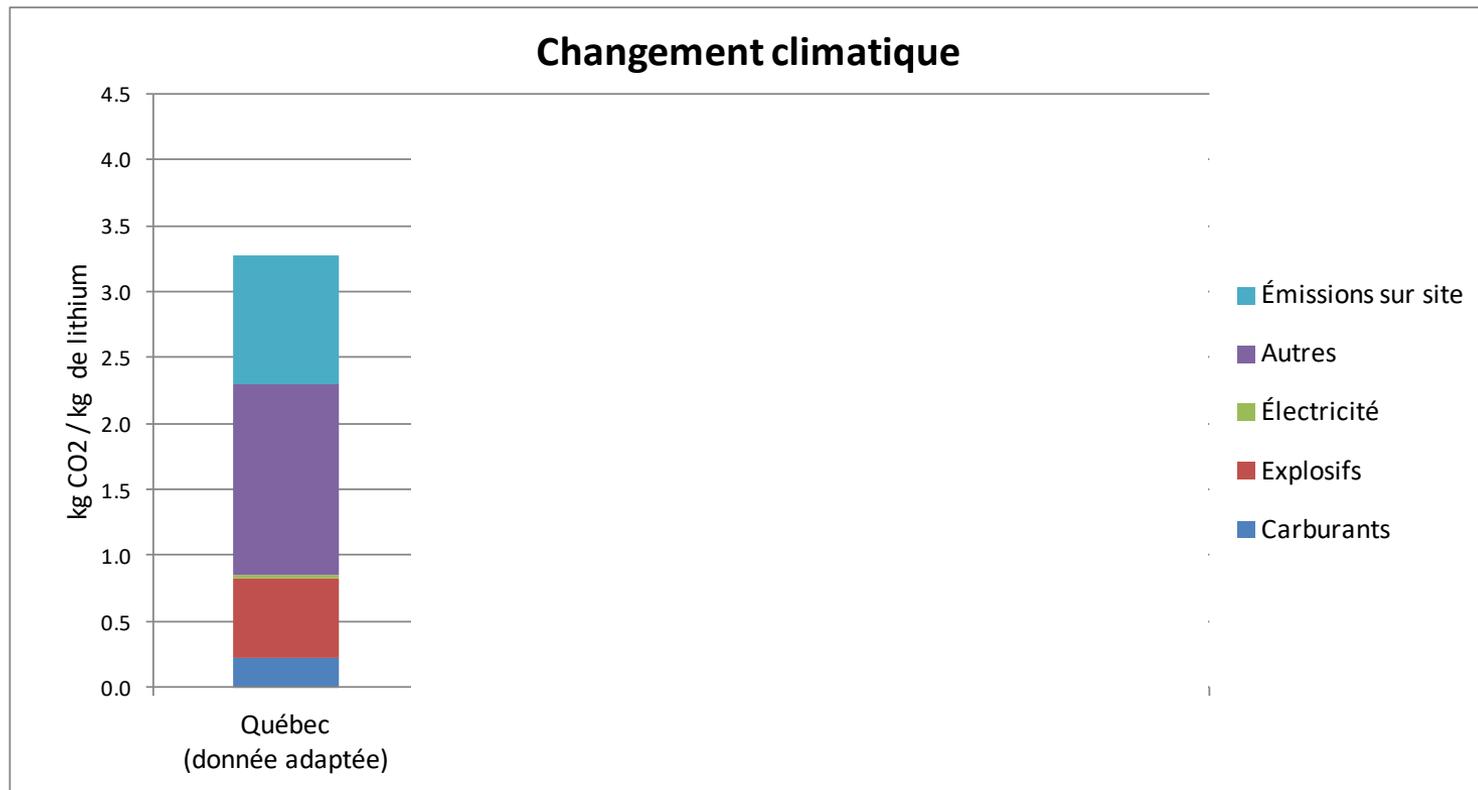
Métal	Frontières	Unité fonctionnelle	Systèmes étudiés
Lithium	Du berceau à la porte de la mine	Production de 1 kg de lithium dans un concentré (de minerai ou de saumure)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentré de spodumène produit au Québec (données génériques adaptées à partir des données à 0.56 % Li)</li> <li>• Concentré de spodumène moyen mondial, issu d'un gisement à 1.86 % Li (données génériques)</li> <li>• Concentré de spodumène moyen mondial, issu d'un gisement à 0.56 % Li (données génériques)</li> <li>• Concentré de saumure moyen mondial (données génériques)</li> </ul>
	Du berceau à la porte de la métallurgie primaire	Production de 1 kg de carbonate de lithium	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbonate de lithium produit à partir de spodumène, moyenne mondiale (données génériques)</li> <li>• Carbonate de lithium produit à partir de spodumène, au Québec (données génériques adaptées)</li> <li>• Carbonate de lithium produit à partir de saumure, moyenne mondiale (données génériques)</li> </ul>
	Du berceau au tombeau (dans une batterie)	Utiliser une batterie LMP sur 1 cycle de charge/décharge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batterie LMP fabriquée et utilisée au Québec (données génériques adaptées)</li> </ul>

# Résultats

## Extraction de lithium

• La première activité analysée est l'**extraction du lithium du sol et sa concentration**, à partir de minerai ou de saumure. Les données sont ici comparées, sur la base d'1 kg de lithium extrait (dans un concentré de spodumène à 3,5 % ou dans la saumure à 6 %) :

1. Donnée générique adaptée pour le Québec (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 0.58 % Li (similaire aux gisements québécois)



# Résultats

## Extraction de lithium

- La première activité analysée est l'**extraction du lithium du sol et sa concentration**, à partir de minerai ou de saumure. Les données sont ici comparées, sur la base d'1 kg de lithium extrait (dans un concentré de spodumène à 3,5 % ou dans la saumure à 6 %) :

1. Donnée générique adaptée pour le Québec (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 0.58 % Li (similaire aux gisements québécois)

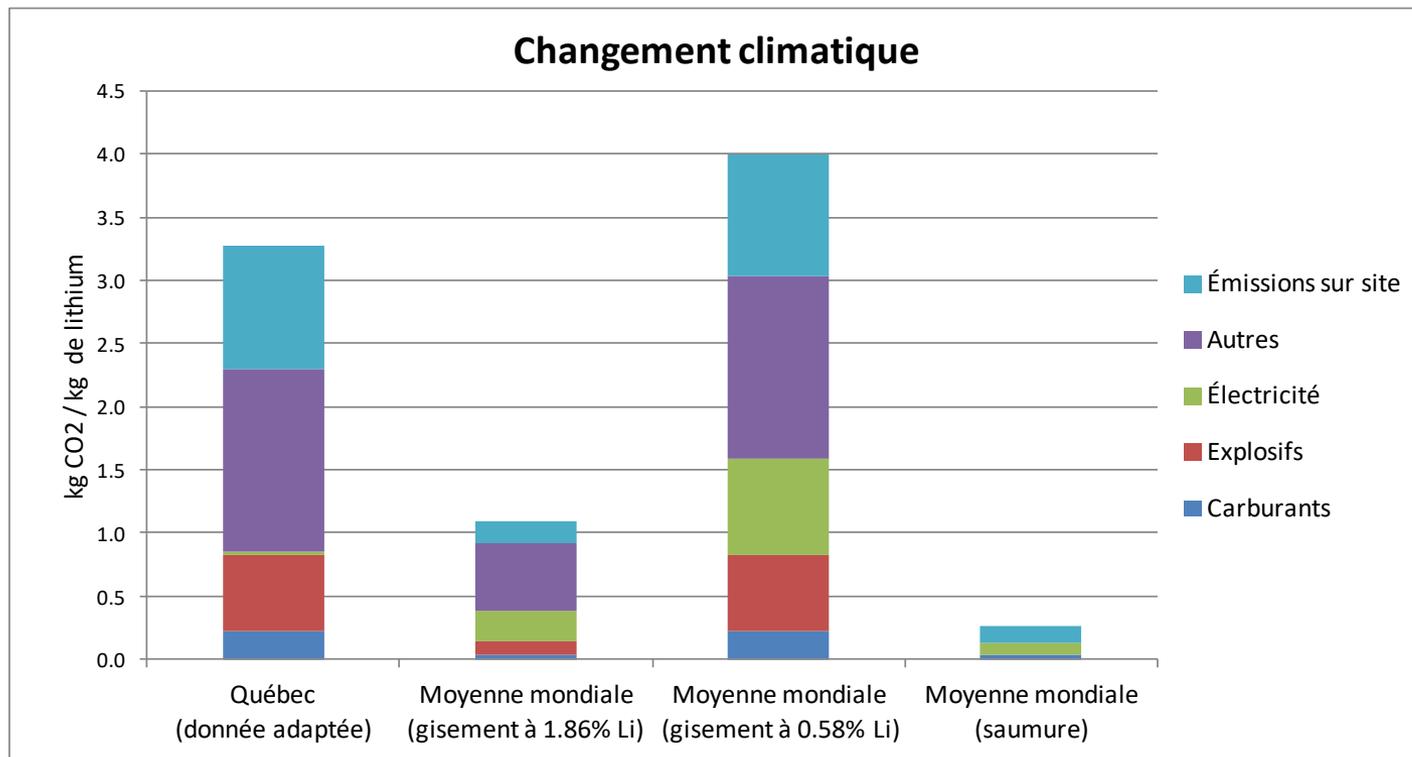
- Les principaux contributeurs dans la catégorie d'impact *Changement climatique* sont les infrastructures minières (regroupées dans « Autres ») et les émissions sur site, liées à la combustion de carburants à la mine et au concentrateur et à l'utilisation d'explosifs. Parmi les entrants consommés, les explosifs sont aussi un important contributeur.
- Dans les autres catégories d'impact, présentées en annexe A, les conclusions sont similaires. Les principaux contributeurs pour les catégories *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* sont les émissions sur site, alors que pour la catégorie *Ressources*, ce sont la production des carburants et des explosifs.
- Ces résultats sont à relativiser compte tenu de l'absence de données spécifiques collectées pour les mines actuellement en activité/développement au Québec.

# Résultats

## Extraction de lithium

• La première activité analysée est l'**extraction du lithium du sol et sa concentration**, à partir de minerai ou de saumure. Les données sont ici comparées, sur la base d'1 kg de lithium extrait (dans un concentré de spodumène à 3,5 % ou dans la saumure à 6 %) :

1. Donnée générique adaptée pour le Québec (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 0.58 % Li (similaire aux gisements québécois)
2. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 1.86 % Li
3. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 0.58 % Li
4. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant une extraction à partir de saumure



# Résultats

## Extraction de lithium

• La première activité analysée est l'**extraction du lithium du sol et sa concentration**, à partir de minerai ou de saumure. Les données sont ici comparées, sur la base d'1 kg de lithium extrait (dans un concentré de spodumène à 3,5 % ou dans la saumure à 6 %) :

1. Donnée générique adaptée pour le Québec (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 0.58 % Li (similaire aux gisements québécois)
2. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 1.86 % Li
3. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant un gisement de spodumène à 0.58 % Li
4. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant une extraction à partir de saumure

➤ L'extraction de lithium à partir de saumure, utilisant principalement de l'énergie solaire pour la concentration de la saumure, apparaît comme la méthode de production qui est la plus faible émettrice de gaz à effet de serre.

➤ La concentration en lithium dans le gisement influence fortement les résultats. Dans un gisement moins concentré, il est nécessaire d'utiliser plus d'explosifs et d'énergie (électricité, diesel, ...) pour une même quantité de lithium extraite. Les émissions sur site sont issues de la combustion des carburants et de l'utilisation des explosifs.

➤ La donnée adaptée pour le Québec présente un avantage lié à l'électricité québécoise faiblement émettrice de gaz à effet de serre, mais reste moins avantageuse que le gisement plus concentré ou la saumure.

➤ Les résultats sont similaires pour les catégories d'impact *Ressources*. Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), les émissions de combustion de carburants sur site défavorisent les données d'extraction de lithium à partir d'un gisement moins concentré.

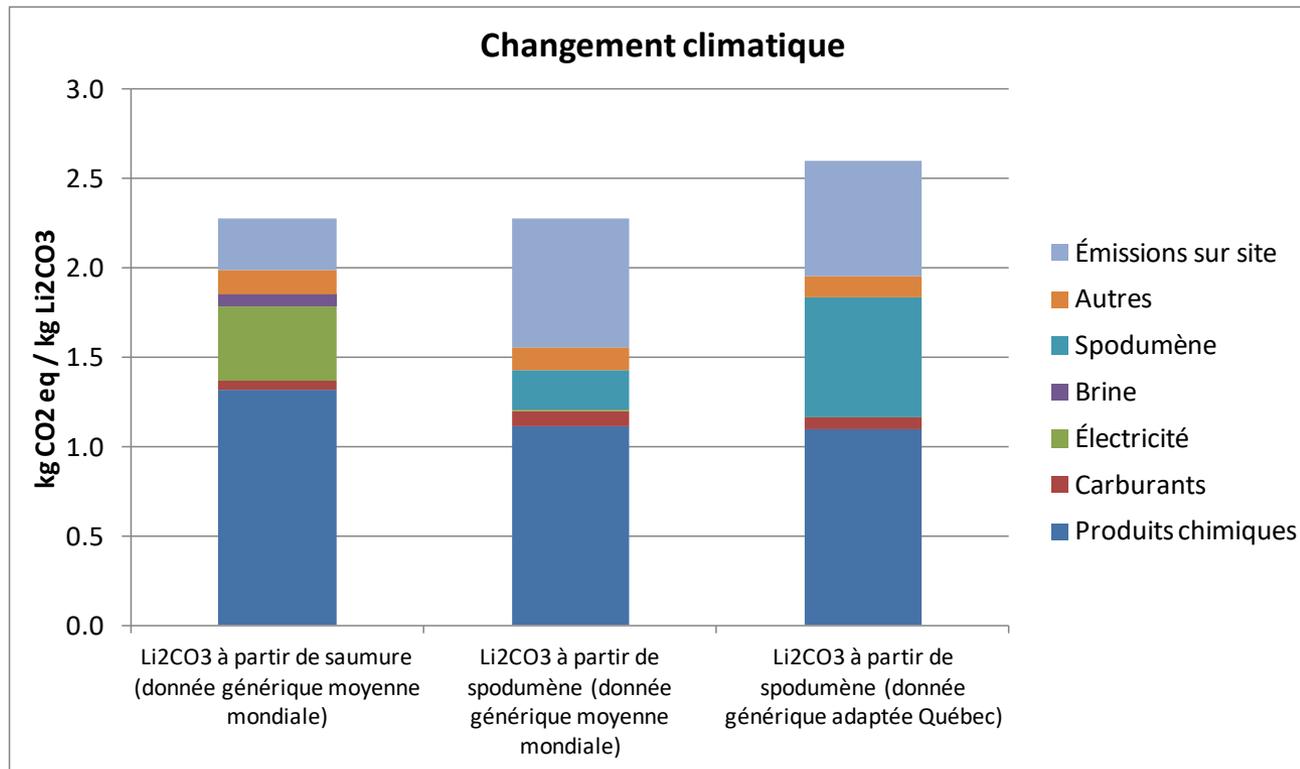
# Résultats

## Production de carbonate de lithium

- La seconde activité analysée est la **production de carbonate de lithium** ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) à partir de minerai concentré ou de saumure concentrée.

Trois données sont ici comparées, sur la base d'1 kg de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  produit :

1. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant la production de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  à partir de saumure concentrée.
2. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant la production de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  à partir de concentré de spodumène.
3. Donnée générique adaptée pour le Québec (Stamp et al., 2012), représentant la production de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  à partir de concentré de spodumène produit au Québec.



# Résultats

## Production de carbonate de lithium

- La seconde activité analysée est la **production de carbonate de lithium** ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) à partir de minerai concentré ou de saumure concentrée.

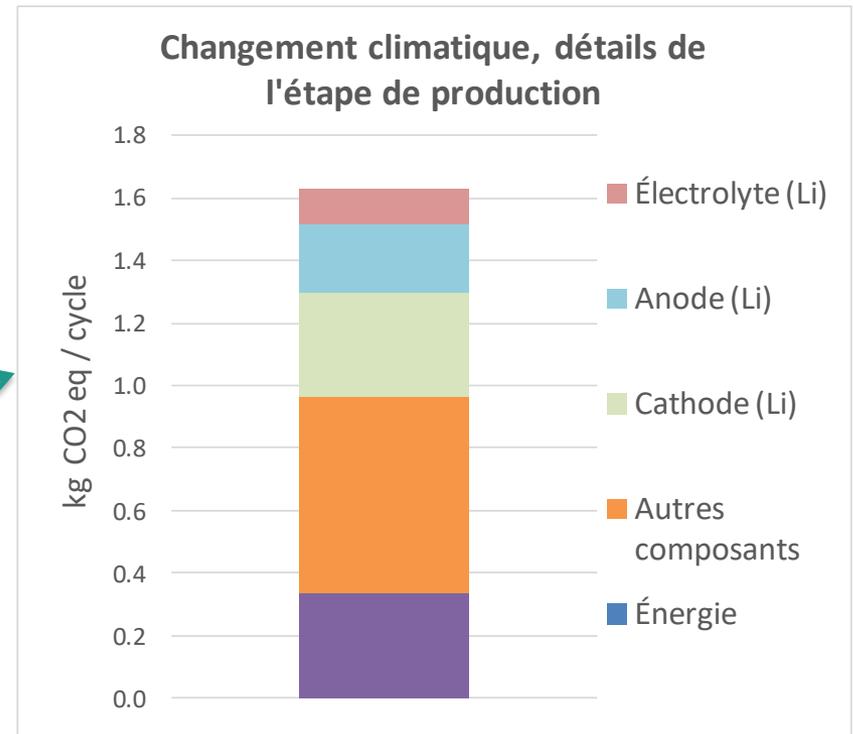
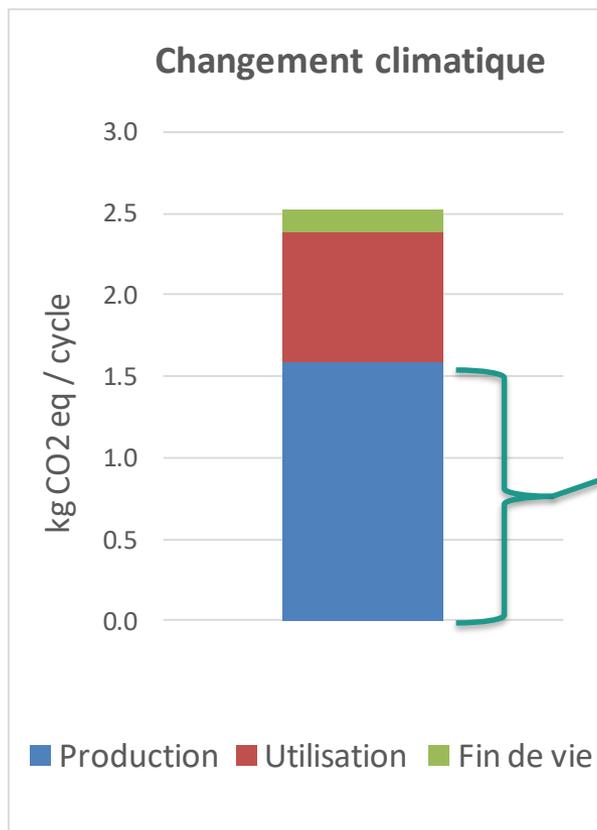
Trois données sont ici comparées, sur la base d'1 kg de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  produit :

1. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant la production de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  à partir de saumure concentrée.
  2. Donnée générique moyenne mondiale (Stamp et al., 2012), représentant la production de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  à partir de concentré de spodumène.
  3. Donnée générique adaptée pour le Québec (Stamp et al., 2012), représentant la production de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  à partir de concentré de spodumène produit au Québec.
- La contribution de l'extraction de lithium (sous forme de saumure ou de spodumène) est plutôt faible par rapport à l'impact total de la production de carbonate de lithium. Les produits chimiques utilisés (soude, ...), l'électricité (pour la production à partir de saumure) et les émissions de combustion des carburants sur site sont les principaux contributeurs dans la catégorie *Changement climatique*.
- La donnée adaptée pour le Québec présente un impact légèrement plus élevé lié à l'approvisionnement en concentré extrait dans des conditions de teneur moins concentrée (voir diapositive précédente).
- Les résultats sont similaires pour la catégorie d'impact *Ressources*. Dans les catégories d'impact *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A), l'approvisionnement en lithium contribue significativement à l'activité. Les résultats sont donc plus défavorables pour le processus adapté au Québec, ce qui s'explique par la comparaison des résultats présentés à la diapositive précédente.

# Résultats

## Cycle de vie d'une batterie LMP

- La troisième activité analysée est **le cycle de vie complet d'une batterie LMP**. La durée de vie de la batterie est de 2000 cycles. Pour plus de détails sur les données et hypothèses utilisées, se référer à l'annexe B.



# Résultats

## Cycle de vie d'une batterie LMP

- La troisième activité analysée est **le cycle de vie complet d'une batterie LMP**. La durée de vie de la batterie est de 2000 cycles. Pour plus de détails sur les données et hypothèses utilisées, se référer à l'annexe B.
- La production de la batterie est la phase du cycle de vie qui a le plus d'impact. Dans cette phase, les autres composants et l'énergie utilisée pour la fabrication ont plus d'impact que les parties contenant du lithium (anode, cathode et électrolyte).
- Le lithium ou ses composés ont une faible contribution au profil environnemental global de la batterie. Ceci s'explique en partie par la faible proportion de lithium dans la batterie (moins de 5 % en masse).
- Les résultats sont similaires pour les catégories d'impact *Ressources*, *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (présentées en annexe A).

# Résultats

## Cycle de vie d'une batterie LMP

- La troisième activité analysée est le **cycle de vie complet d'une batterie LMP**.

À titre d'exemple et pour alimenter la discussion, les effets de plusieurs stratégies de circularité identifiées dans l'étape 2.1 de ce projet ont été évalués. Les résultats sont synthétisés et présentés dans le tableau ci-dessous. Une évaluation environnementale plus poussée des stratégies de circularité sera effectuée à l'étape 3.3 du projet.

Exemple de stratégies	Effet sur les résultats
Production de la batterie avec du lithium provenant du Québec, et recyclage local	<ul style="list-style-type: none"><li>• Faible influence, car le lithium est un faible contributeur au profil total de la batterie</li><li>• Recyclage local plus avantageux</li></ul>
Production de la batterie avec du lithium recyclé à 100 %	Faible influence, car le lithium est un faible contributeur au profil total de la batterie
Allongement de la durée de vie	Influence importante (sur les résultats pour un cycle d'utilisation de la batterie)
Conception modulaire (anode et cathode remplaçables)	Influence importante, car les composantes autres que l'anode et la cathode sont un grand contributeur

# DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

# Discussion et recommandations

L'analyse des performances environnementales des processus **d'extraction et de concentration** des trois métaux au Québec présente **plusieurs points communs** dans ces activités. Les **consommations de carburants et d'explosifs**, via les impacts liés à leur production, mais surtout aux **émissions associées sur site**, sont les principaux contributeurs dans les catégories *Changement climatique* et *Ressources*. Ils présentent aussi une contribution importante dans les catégories *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes*, en plus des émissions directes liées aux activités (rejets de métaux ou de particules).

En comparaison avec les **données moyennes mondiales génériques**, issues de bases de données, les **activités minières québécoises** impliquent souvent des **consommations en carburants supérieures**. Ces données semblent être reliées au **contexte québécois** où plusieurs mines sont dans des régions froides et hors de portée du réseau électrique, nécessitant l'utilisation de génératrices autonomes. Le **type de gisement** (concentration, localisation, ...) est aussi un facteur déterminant, car il va influencer les quantités d'entrants nécessaires à la production d'une quantité équivalente de concentré.

# Discussion et recommandations

L'influence du **gisement** peut aussi être observée en comparant les ordres de grandeur des résultats obtenus pour le fer et le cuivre. Il est préalablement nécessaire de souligner que les deux métaux n'étant pas fonctionnellement équivalents, il n'est pas correct de comparer 1 kg de fer à 1 kg de cuivre. Néanmoins, les différences de pointage entre ces deux métaux (0,65 kg de CO<sub>2</sub>/kg de concentré de cuivre à 29 % et 0,019 kg de CO<sub>2</sub>/kg de concentré de fer à 65 %) semblent principalement provenir des **différences de teneur** en cuivre ou fer dans les minerais exploités. Dans les mines de cuivre analysées, la teneur en cuivre est proche ou inférieure à 1 %, alors que dans celles de fer, la teneur en fer est de presque 30 %. L'énergie nécessaire pour extraire et traiter le minerai et produire 1 kg de concentré est donc nettement supérieure pour le cuivre que pour le fer.

La comparaison des activités de procédés métallurgiques d'élaboration et de transformation de ces métaux illustre **l'avantage de la faible empreinte de l'électricité québécoise** dans ces activités.

# Discussion et recommandations

Par ailleurs, plus on avance dans le cycle de transformation du métal, moins la contribution des activités d'extraction est importante. Ceci est en partie relié à la **dilution du métal** dans les produits qu'il compose. Des stratégies de circularité axées sur le métal ont donc une influence différente selon la concentration en métal dans le produit. Celles visant des produits plutôt que les activités minières vont donc souvent avoir un potentiel d'amélioration plus important.

# Valorisation des données collectées et des résultats

Les données collectées et modélisées dans cette étape seront bonifiées dans les étapes subséquentes de ce projet :

- Une **analyse croisée** des résultats de l'ACV et de l'AFM pour chaque métal permettra de faire ressortir les résultats et recommandations à prendre en compte pour la suite du projet;
- Une **analyse de cycle de vie conséquentielle** sur la mise en place de certaines stratégies de circularité sera effectuée dans l'étape 3, en lien avec l'analyse technico-économique. Les données collectées et les résultats obtenus dans cette étape serviront de base à la réalisation de cette étude conséquentielle.
- Des **jeux de données** seront créés pour enrichir la base de données d'inventaire du cycle de vie québécoise avec les données collectées (voir diapositive suivante).

# Valorisation des données collectées et des résultats

Les données collectées auprès d'entreprises québécoises vont être utilisées pour enrichir la base québécoise des données d'inventaire du cycle de vie de nouveaux jeux de données (les jeux de données seront également soumis à la base de données ecoinvent). Le tableau suivant synthétise les jeux de données qui seront créés pour les trois métaux à l'étude.

Métal	Système	Jeu de données ?	Commentaires
Fer	Production de concentré de fer	Oui	Mise à jour de la donnée existante
	Production d'acier primaire par réduction directe et four à arc électrique	Oui	Création d'une nouvelle donnée à partir de l'extrapolation de données collectées
	Production d'acier secondaire par four à arc électrique	Oui	Mise à jour de la donnée existante
Cuivre	Production de concentré de cuivre	Oui	Création d'une nouvelle donnée à partir de la moyenne des données collectées pour plusieurs mines
	Production d'anodes de cuivre	Non	Aucune donnée collectée pour le Québec
	Production de cathodes de cuivre	Non	Aucune donnée collectée pour le Québec
Lithium	Production de concentré de lithium à partir de spodumène	Non	Aucune donnée collectée pour le Québec
	Production de carbonate de lithium	Non	Données collectées incomplètes

# Limites

Cette ACV visait l'évaluation et la mise en perspective du profil environnemental de différentes activités du cycle de vie des trois métaux étudiés. Toute conclusion tirée de cette étude hors de son contexte original doit être évitée.

Les conclusions doivent également être interprétées en tenant compte des **limites de l'étude et inhérentes à l'ACV**. En effet, une certaine **incertitude** est associée à certaines **hypothèses** de base ou au manque de données spécifiques pour plusieurs activités (pour le cuivre en particulier).

Il est également à noter que l'ACV possède des limites importantes associées à **l'incertitude de la modélisation des impacts environnementaux** du cycle de vie. Par exemple, certains impacts environnementaux ne sont pas pris en compte (p.ex. le bruit ou la transformation des terres associées à l'hydroélectricité), ou leur estimation présente une grande incertitude (surestimation de la toxicité de métaux).

# Limites

La comparaison des données québécoises à des données moyennes génériques est également à relativiser. Ces données génériques peuvent être plus anciennes et moins précises que les données collectées directement auprès d'acteurs québécois. La comparaison des données n'inclut par ailleurs pas l'éventuel transport des produits entre leur lieu de production et d'utilisation. Ceci pourrait avantager les produits fabriqués au Québec par rapport à ceux importés du reste du monde.

L'analyse du cycle de vie n'est pas un outil approprié afin d'évaluer les risques de nature très localisée; qui dépendent par exemple de la géologie du sol et/ou de facteurs spécifiques aux sites. Dans de tels cas, les résultats d'ACV ne peuvent en aucun cas se substituer à une analyse de risques.

# CONCLUSION

# Conclusion

La présente étude visait à **documenter les impacts de l'industrie minière québécoise sur l'environnement**, notamment les émissions de gaz à effet de serre, en utilisant l'analyse du cycle de vie, pour les métaux sélectionnés dans ce projet : fer, cuivre et lithium.

L'analyse des performances environnementales des processus d'extraction et de concentration des trois métaux au Québec présente plusieurs points communs dans ces activités. Les consommations de carburants et d'explosifs, via les impacts liés à leur production, mais surtout aux émissions associées sur site, sont les principaux contributeurs aux impacts environnementaux potentiels de ces activités. Dans l'étude des activités des procédés métallurgiques de transformations de ces métaux, du métal primaire jusqu'à la fabrication des pièces, l'avantage de la faible empreinte de l'électricité québécoise est souvent mise de l'avant.

Les **données collectées** dans cette étape du projet **seront bonifiées dans les étapes subséquentes**, que ce soit pour l'analyse conséquentielle de la mise en place de stratégies de circularité ou par la création de jeux de données pour la base de données québécoise d'inventaire du cycle de vie.

# ABRÉVIATIONS ET RÉFÉRENCES

# Abréviations et acronymes

ACV	Analyse du cycle de vie
AFM	Analyse des flux de matières
AmN	Amérique du Nord
CIRAIG	Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et service
CO2	Dioxyde de carbone
DALY	Disabled Adjusted Life Years, ou espérance de vie corrigée de l'incapacité (EVCI). L'EVCI est un mode d'évaluation mesurant l'espérance de vie en bonne santé
GES	Gaz à effet de serre
IEDDEC	Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire
ICV	Inventaire du cycle de vie
ISO	Organisation internationale de normalisation
Li2CO3	Carbonate de lithium
LiFePO4	Lithium fer phosphate
LMP	Lithium métal polymère : les constituants de la batterie électrique
MERN	Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles
MJ	Mégajoules d'énergie
PDF*m <sup>2</sup> *an	« Potentially Disappeared Fraction » ou Fraction d'espèces potentiellement disparues sur une surface donnée et durant une certaine période de temps

# Références

BLUE SOLUTIONS (2015). *Registration document 2015*. Groupe Bolloré, 172 pages.

CLOUTIER, J. (2015). *Est-ce que le stockage d'énergie au Québec pourrait être avantageux d'un point de vue environnemental? Analyse du cycle de vie attributionnelle et conséquentielle*. Essai de maîtrise en environnement. Université de Sherbrooke. 115 pages.

COPPER ALLIANCE (2015). Copper production chain. En ligne : <http://www.copper-life-cycle.org/index.php?id=2>. [Consulté le 15 mai 2017]

ECOINVENT (2016). *Base de données d'inventaire du cycle de vie ecoinvent version 3.2*. Accès via les logiciels OpenLCA et Simapro.

EDDEC (2016) *Métaux et économie circulaire au Québec. Rapport de l'étape 2 : diagnostic. Sous-étape 2.1 : Revue de littérature et des bonnes pratiques internationales – AFM et ACV*. Institut EDDEC, 42 pages.

ISO (2006a). *ISO 14040: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*. Organisation internationale de normalisation, 24 pages.

ISO (2006b). *ISO 14044: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices*. Organisation internationale de normalisation, 56 pages.

JOLLIET, O., MARGNI, M., CHARLES, R., HUMBERT, S., PAYET, J., REBITZER, G. et ROSENBAUM, R. (2003). *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. International Journal of Life Cycle Assessment 8(6) p.324-330

# Références

MAGNAN, J-F. (2016). *Advantages of the Nemaska's electromembrane process for the direct production of high purity lithium hydroxide*. Présentation à Québec Mines 2016, Québec (Canada), 23 Novembre 2016.

MAJEAU-BETTEZ, G., HAWKINS, T.R., STROMMAN, A.H. (2011). *Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hybride batteries for plug-in hybrid and battery electric vehicles*. Environmental Science and Technologies (45) p.4548-45554.

STAMP, A., LANG, D.J., WAGER, P.A. (2012). *Environmental impacts of a transition toward e-mobility: the present and future role of lithium carbonate production*. Journal of cleaner production (23) p.104-112

WORLDSTEEL (2015) [Steel in the circular economy - a life cycle perspective](#). World Steel Association, 32 pages.

# ANNEXES

# ANNEXE A - RÉSULTATS

# ANNEXE A - Résultats

Les résultats détaillés pour les quatre catégories d'impact à l'étude sont présentés dans les diapositives suivantes.

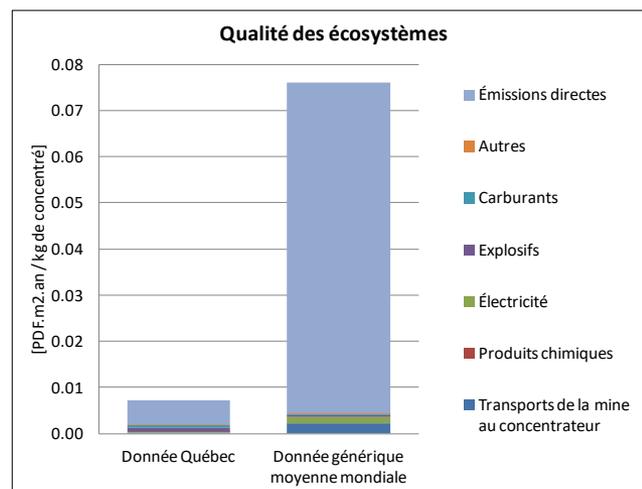
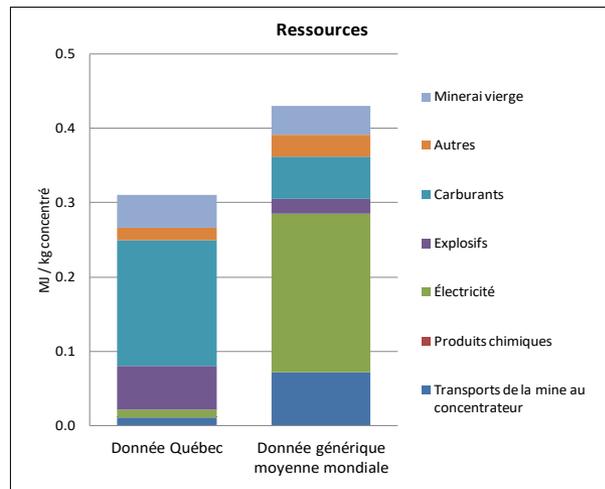
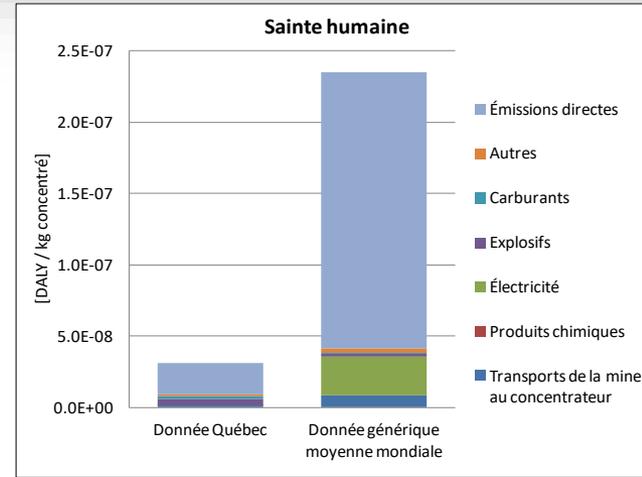
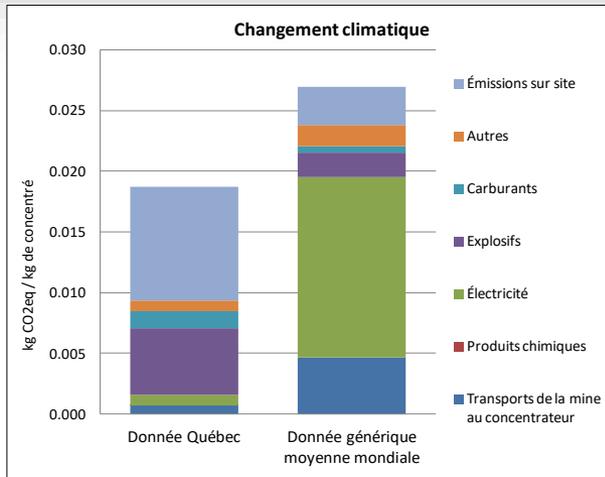
Les résultats bruts sont aussi présentés sous forme de tableaux. Ils sont disponibles sur demande sous forme d'un fichier Excel d'annexe à l'adresse suivante :

[francois.saunier@polymtl.ca](mailto:francois.saunier@polymtl.ca)

# ANNEXE A - Résultats

## Extraction du fer

➤ Comparaison des résultats pour le concentré de fer pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)



# ANNEXE A - Résultats

## Extraction du fer

➤ Comparaison des résultats pour le concentré de fer pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)

	Donnée Québec	Donnée générique moyenne mondiale
Changement climatique (kg CO2 eq)		
Transports de la mine au concentrateur	6.95E-04	4.64E-03
Produits chimiques	1.87E-06	0.00E+00
Électricité	8.75E-04	1.49E-02
Explosifs	5.51E-03	2.00E-03
Carburants	1.40E-03	5.10E-04
Autres	8.54E-04	1.78E-03
Émissions sur site	9.40E-03	3.16E-03
<b>Total</b>	<b>1.87E-02</b>	<b>2.70E-02</b>

	Donnée Québec	Donnée générique moyenne mondiale
Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an)		
Transports de la mine au concentrateur	1.52E-04	2.23E-03
Produits chimiques	7.19E-07	0.00E+00
Électricité	2.13E-04	1.34E-03
Explosifs	7.39E-04	3.50E-04
Carburants	7.13E-04	2.59E-04
Autres	1.81E-04	2.97E-04
Émissions sur site	5.12E-03	7.16E-02
<b>Total</b>	<b>7.61E-02</b>	<b>1.04E+03</b>

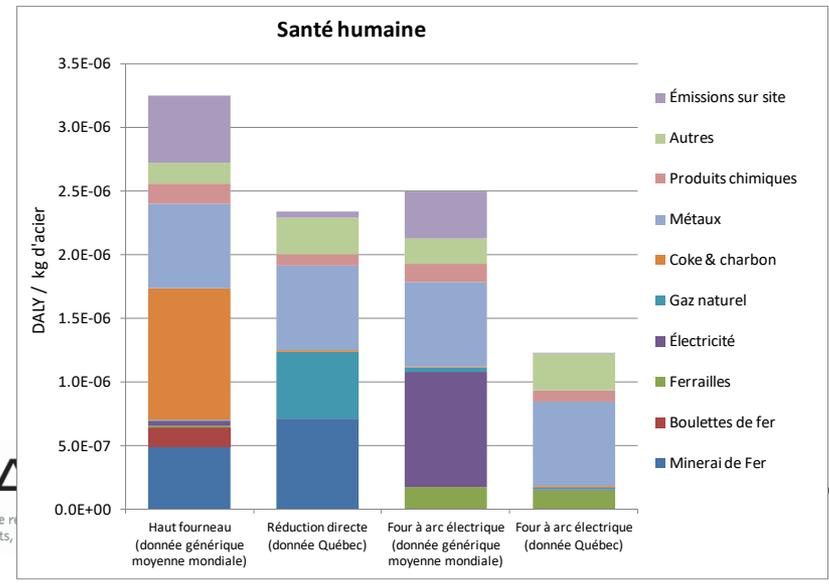
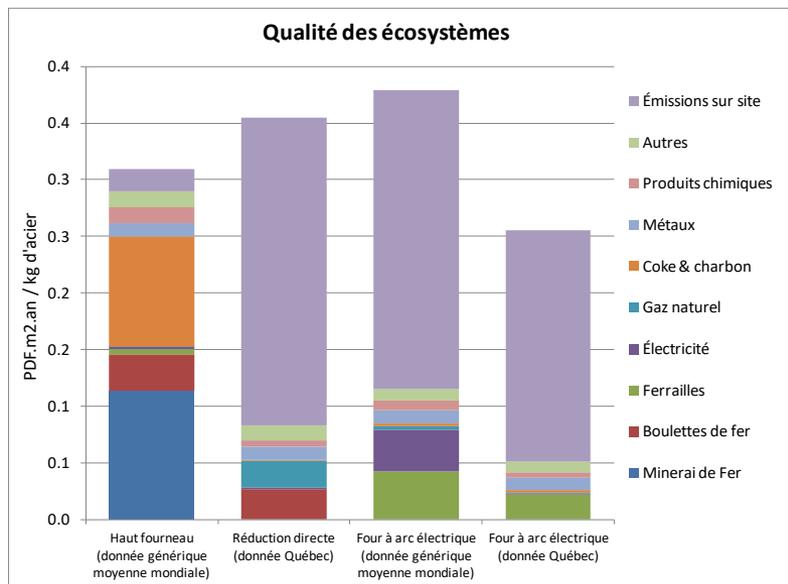
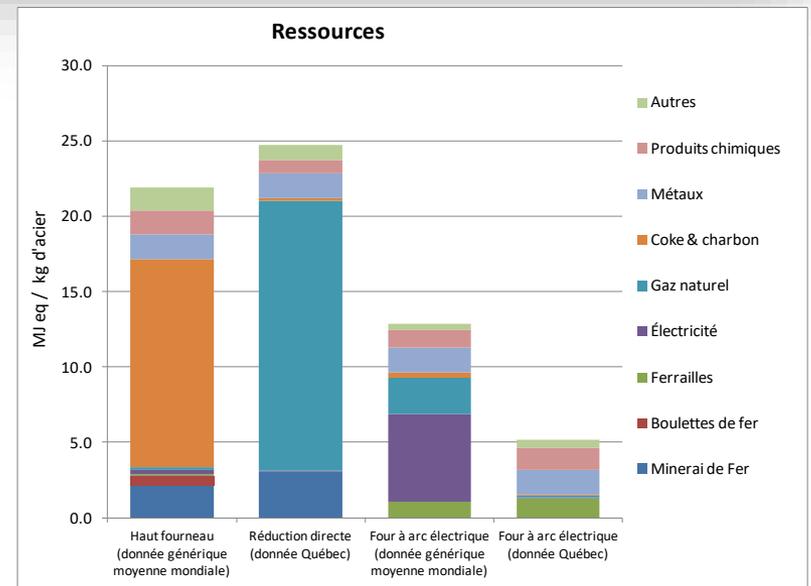
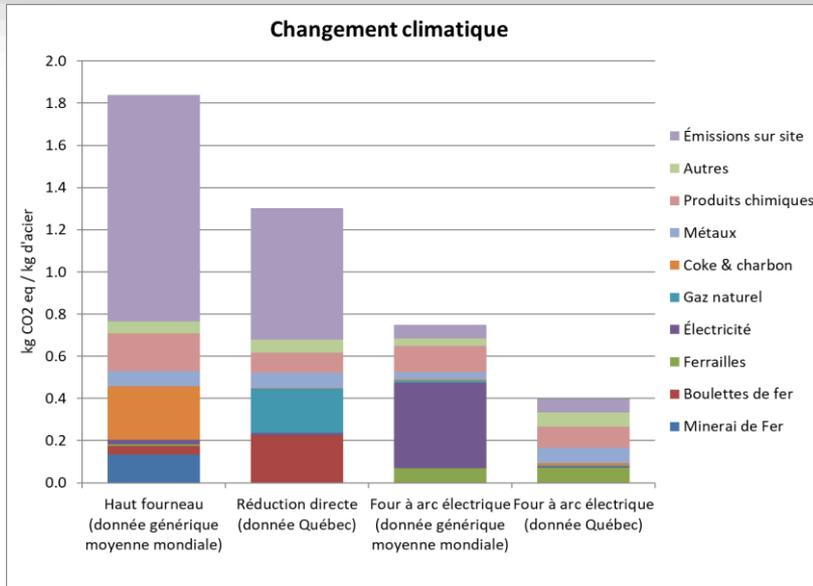
	Donnée Québec	Donnée générique moyenne mondiale
Santé humaine (DALY)		
Transports de la mine au concentrateur	1.19E-09	8.47E-09
Produits chimiques	3.09E-12	0.00E+00
Électricité	4.39E-10	2.69E-08
Explosifs	4.49E-09	2.14E-09
Carburants	2.00E-09	6.35E-10
Autres	8.34E-10	3.39E-09
Émissions sur site	2.19E-08	1.94E-07
<b>Total</b>	<b>3.09E-08</b>	<b>2.35E-07</b>

	Donnée Québec	Donnée générique moyenne mondiale
Ressources (MJ)		
Transports de la mine au concentrateur	1.05E-02	7.16E-02
Produits chimiques	1.57E-04	0.00E+00
Électricité	1.06E-02	2.14E-01
Explosifs	5.94E-02	1.98E-02
Carburants	1.68E-01	5.68E-02
Autres	1.69E-02	2.90E-02
Émissions sur site	4.50E-02	3.91E-02
<b>Total</b>	<b>3.11E-01</b>	<b>4.30E-01</b>

# ANNEXE A - Résultats

## Production d'acier

➤ Comparaison des résultats pour la production d'acier pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)



# ANNEXE A - Résultats

## Production d'acier

➤ Comparaison des résultats pour la production d'acier pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)

	Haut fourneau (donnée générique moyenne mondiale)	Réduction directe (donnée Québec)	Four à arc électrique (donnée générique moyenne mondiale)	Four à arc électrique (donnée Québec)
Changement climatique (kg CO2 eq)				
Concentré de Fer	1.35E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Boulettes de fer	3.93E-02	2.27E-01	0.00E+00	0.00E+00
Ferrailles	7.77E-03	0.00E+00	6.86E-02	7.14E-02
Électricité	2.22E-02	1.05E-02	4.06E-01	4.62E-03
Gaz naturel	9.14E-04	2.10E-01	1.02E-02	7.16E-03
Coke & charbon	2.53E-01	3.64E-03	5.70E-03	1.09E-02
Métaux	7.33E-02	7.18E-02	3.52E-02	7.33E-02
Produits chimiques	1.76E-01	9.50E-02	1.23E-01	9.83E-02
Autres	5.65E-02	6.08E-02	3.66E-02	6.67E-02
Émissions sur site	1.08E+00	6.23E-01	6.44E-02	6.52E-02
<b>Total</b>	<b>1.84E+00</b>	<b>1.30E+00</b>	<b>7.50E-01</b>	<b>3.98E-01</b>

	Haut fourneau (donnée générique moyenne mondiale)	Réduction directe (donnée Québec)	Four à arc électrique (donnée générique moyenne mondiale)	Four à arc électrique (donnée Québec)
Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an)				
Concentré de Fer	1.13E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Boulettes de fer	3.26E-02	2.71E-02	0.00E+00	0.00E+00
Ferrailles	4.73E-03	0.00E+00	4.21E-02	2.21E-02
Électricité	1.98E-03	1.53E-03	3.71E-02	1.03E-03
Gaz naturel	2.20E-04	2.33E-02	3.38E-03	5.89E-04
Coke & charbon	9.69E-02	9.11E-04	2.12E-03	1.95E-03
Métaux	1.14E-02	1.14E-02	1.14E-02	1.14E-02
Produits chimiques	1.44E-02	5.58E-03	9.10E-03	4.26E-03
Autres	1.44E-02	1.31E-02	1.00E-02	9.73E-03
Émissions sur site	1.92E-02	2.72E-01	2.64E-01	2.04E-01
<b>Total</b>	<b>3.09E-01</b>	<b>3.55E-01</b>	<b>3.79E-01</b>	<b>2.55E-01</b>

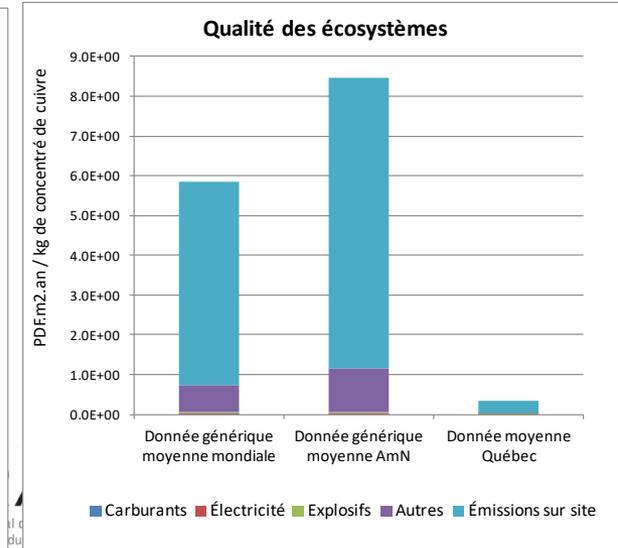
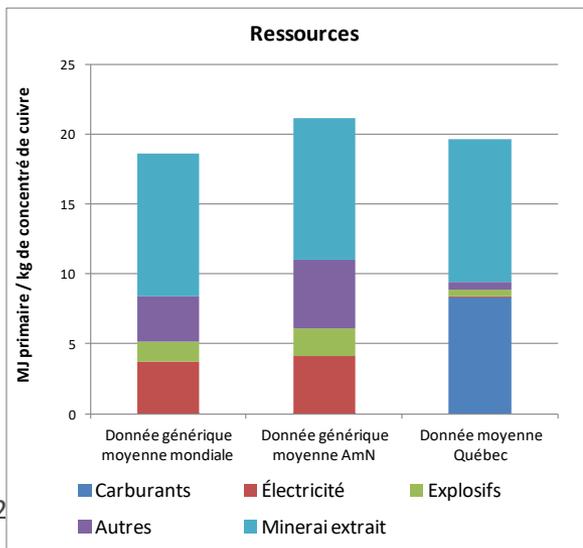
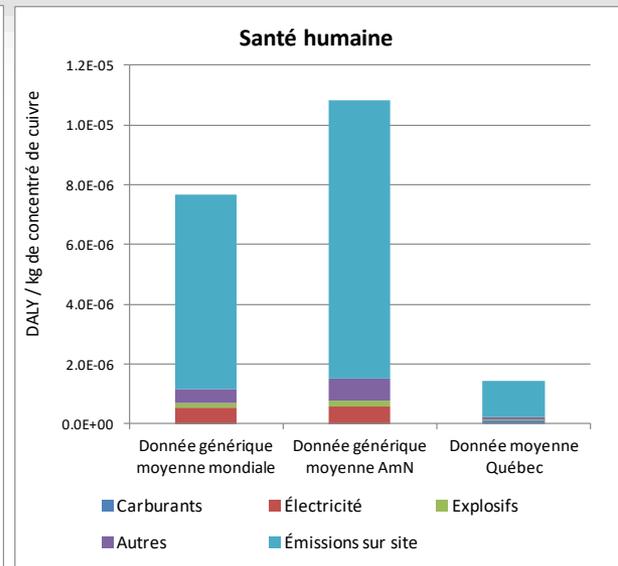
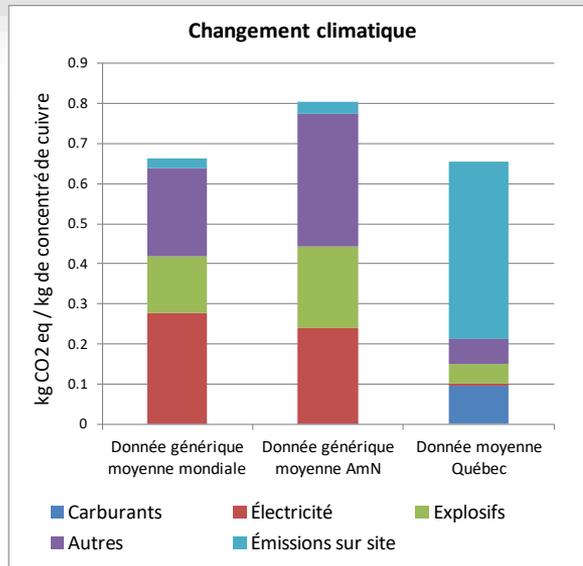
	Haut fourneau (donnée générique moyenne mondiale)	Réduction directe (donnée Québec)	Four à arc électrique (donnée générique moyenne mondiale)	Four à arc électrique (donnée Québec)
Santé humaine (DALY)				
Concentré de Fer	4.90E-07	7.05E-07	0.00E+00	0.00E+00
Boulettes de fer	1.48E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ferrailles	1.60E-08	0.00E+00	1.73E-07	1.47E-07
Électricité	4.02E-08	3.31E-09	9.00E-07	2.46E-09
Gaz naturel	2.60E-09	5.27E-07	3.63E-08	1.76E-08
Coke & charbon	1.04E-06	1.50E-08	9.46E-09	1.49E-08
Métaux	6.61E-07	6.61E-07	6.61E-07	6.61E-07
Produits chimiques	1.61E-07	9.05E-08	1.43E-07	9.08E-08
Autres	1.61E-07	2.90E-07	1.99E-07	2.89E-07
Émissions sur site	5.28E-07	4.63E-08	3.74E-07	1.22E-09
<b>Total</b>	<b>3.25E-06</b>	<b>2.34E-06</b>	<b>2.50E-06</b>	<b>1.22E-06</b>

	Haut fourneau (donnée générique moyenne mondiale)	Réduction directe (donnée Québec)	Four à arc électrique (donnée générique moyenne mondiale)	Four à arc électrique (donnée Québec)
Ressources (MJ)				
Concentré de Fer	2.11E+00	3.05E+00	0.00E+00	0.00E+00
Boulettes de fer	6.23E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ferrailles	1.20E-01	0.00E+00	1.05E+00	1.30E+00
Électricité	3.20E-01	6.65E-02	5.84E+00	3.43E-02
Gaz naturel	1.61E-01	1.79E+01	2.37E+00	1.69E-01
Coke & charbon	1.38E+01	1.57E-01	3.56E-01	1.92E-02
Métaux	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00
Produits chimiques	1.56E+00	8.99E-01	1.17E+00	1.50E+00
Autres	1.56E+00	9.94E-01	4.39E-01	5.49E-01
Émissions sur site	0.00E+00	2.45E-03	1.17E-03	0.00E+00
<b>Total</b>	<b>2.19E+01</b>	<b>2.47E+01</b>	<b>1.29E+01</b>	<b>5.20E+00</b>

# ANNEXE A - Résultats

## Extraction du cuivre

➤ Comparaison des résultats pour le concentré de cuivre pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)



# ANNEXE A - Résultats

## Extraction du cuivre

➤ Comparaison des résultats pour le concentré de cuivre pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)

	Donnée moyenne Québec	Donnée générique moyenne mondiale	Donnée générique moyenne AmN
	Changement climatique (kg CO2 eq)		
Carburants	9.46E-02	2.65E-05	4.31E-05
Électricité	5.28E-03	2.77E-01	2.39E-01
Explosifs	4.90E-02	1.42E-01	2.04E-01
Autres	6.27E-02	2.21E-01	3.30E-01
Émissions sur site	4.43E-01	2.29E-02	3.02E-02
<b>Total</b>	<b>6.55E-01</b>	<b>6.63E-01</b>	<b>8.04E-01</b>

	Donnée moyenne Québec	Donnée générique moyenne mondiale	Donnée générique moyenne AmN
	Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an)		
Carburants	1.32E-05	2.15E-05	9.20E-03
Électricité	2.64E-02	2.40E-02	2.32E-03
Explosifs	3.04E-02	4.35E-02	7.71E-03
Autres	6.87E-01	1.08E+00	1.87E-02
Émissions sur site	5.11E+00	7.32E+00	3.15E-01
<b>Total</b>	<b>5.85E+00</b>	<b>8.47E+00</b>	<b>3.53E-01</b>

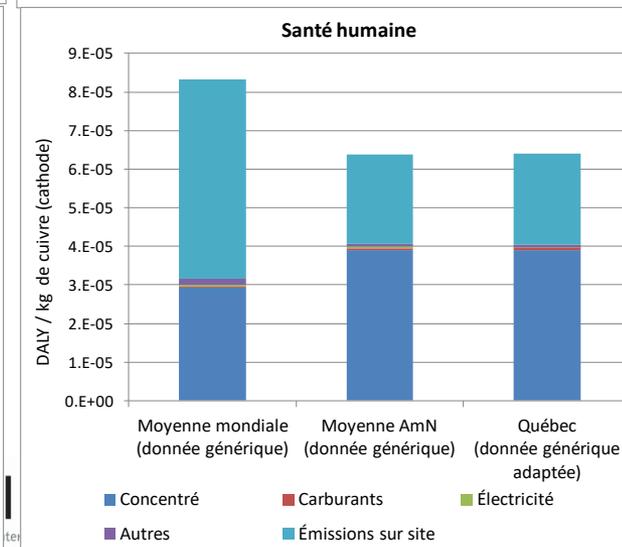
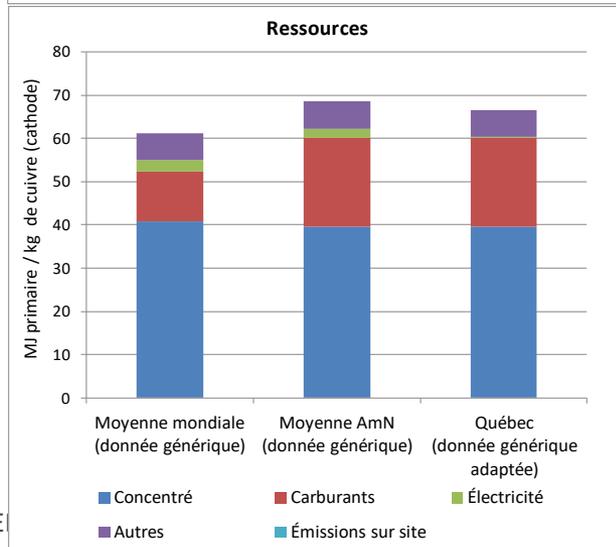
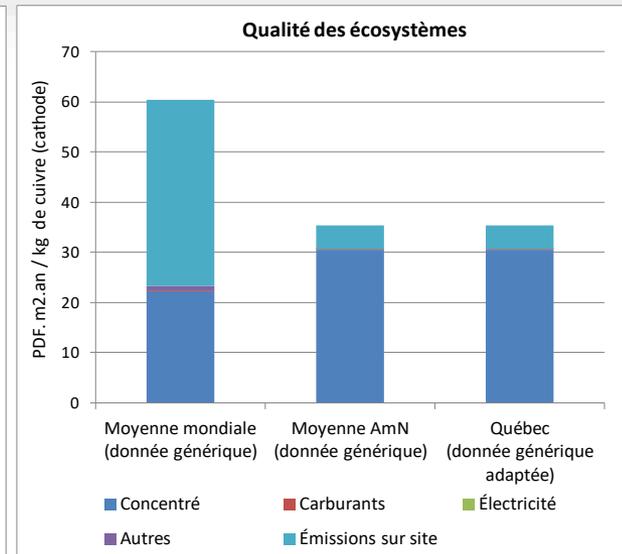
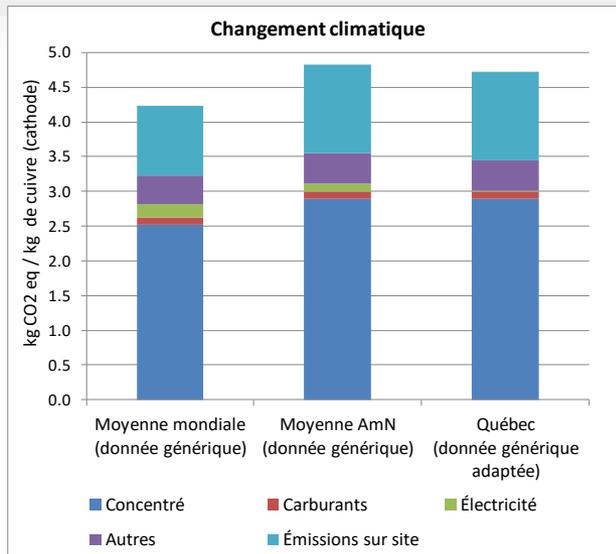
	Donnée moyenne Québec	Donnée générique moyenne mondiale	Donnée générique moyenne AmN
	Santé humaine (DALY)		
Carburants	3.22E-11	5.23E-11	1.03E-07
Électricité	5.18E-07	5.64E-07	2.99E-09
Explosifs	1.48E-07	2.12E-07	4.72E-08
Autres	4.69E-07	7.11E-07	6.32E-08
Émissions sur site	6.52E-06	9.34E-06	1.21E-06
<b>Total</b>	<b>7.66E-06</b>	<b>1.08E-05</b>	<b>1.43E-06</b>

	Donnée moyenne Québec	Donnée générique moyenne mondiale	Donnée générique moyenne AmN
	Ressources (MJ)		
Carburants	2.90E-03	4.71E-03	8.31E+00
Électricité	3.76E+00	4.11E+00	6.06E-02
Explosifs	1.37E+00	1.96E+00	4.90E-01
Autres	3.30E+00	4.92E+00	5.79E-01
Émissions sur site	1.02E+01	1.02E+01	1.02E+01
<b>Total</b>	<b>1.86E+01</b>	<b>2.12E+01</b>	<b>1.96E+01</b>

# ANNEXE A - Résultats

## Production de cathodes de cuivre

➤ Comparaison des résultats pour la production de cathodes de cuivre par voie primaire pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)



# ANNEXE A - Résultats

## Production de cathodes de cuivre

➤ Comparaison des résultats pour la production de cathodes de cuivre par voie primaire pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)

	Moyenne mondiale (donnée générique)	Moyenne AmN (donnée générique)	Québec (donnée générique adaptée)
Changement climatique (kg CO2 eq)			
Concentré de cuivre	2.53E+00	2.90E+00	2.90E+00
Carburants	1.00E-01	1.02E-01	1.02E-01
Électricité	1.92E-01	1.16E-01	1.16E-02
Autres	4.13E-01	4.38E-01	4.38E-01
Émissions sur site	9.97E-01	1.27E+00	1.27E+00
<b>Total</b>	<b>4.23E+00</b>	<b>4.83E+00</b>	<b>4.72E+00</b>

	Moyenne mondiale (donnée générique)	Moyenne AmN (donnée générique)	Québec (donnée générique adaptée)
Santé humaine (DALY)			
Concentré de cuivre	2.92E-05	3.90E-05	3.90E-05
Carburants	3.75E-07	5.10E-07	6.71E-07
Électricité	3.61E-07	2.77E-07	5.24E-09
Autres	1.55E-06	7.47E-07	7.47E-07
Émissions sur site	5.17E-05	2.33E-05	2.36E-05
<b>Total</b>	<b>8.32E-05</b>	<b>6.38E-05</b>	<b>6.41E-05</b>

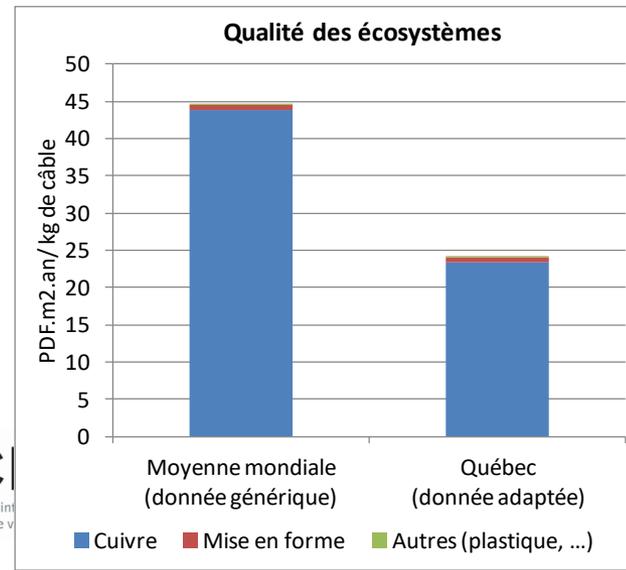
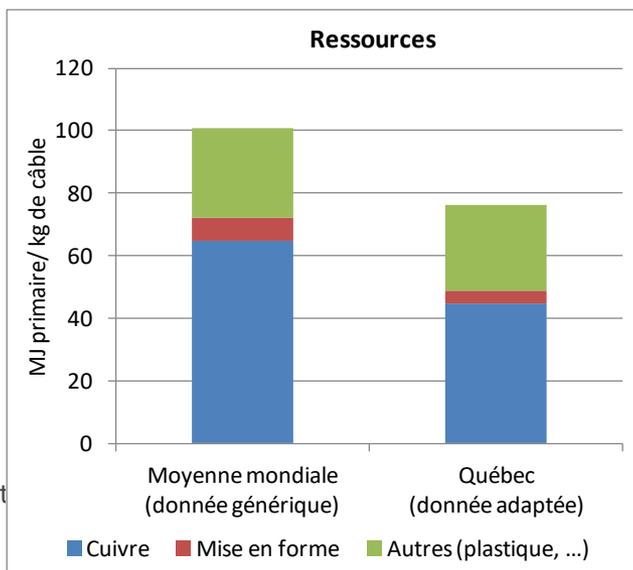
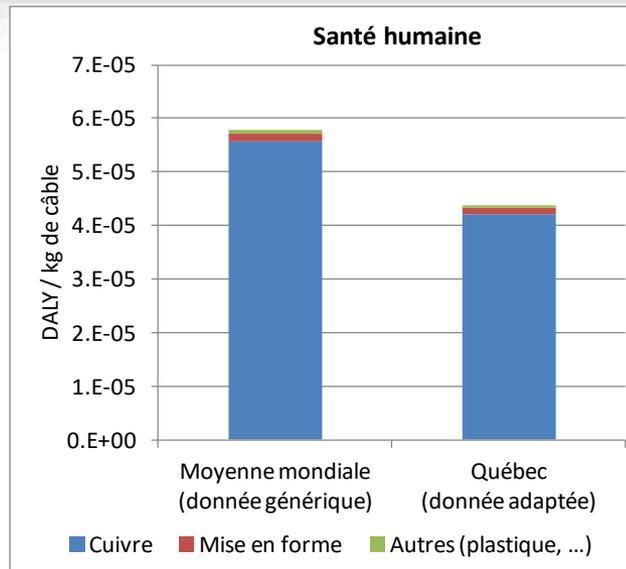
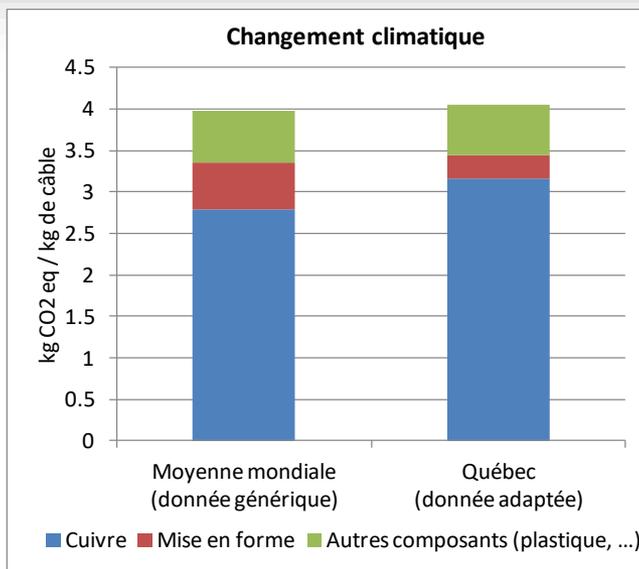
	Moyenne mondiale (donnée générique)	Moyenne AmN (donnée générique)	Québec (donnée générique adaptée)
Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an)			
Concentré de cuivre	2.23E+01	3.05E+01	3.05E+01
Carburants	1.20E-01	9.25E-02	9.25E-02
Électricité	1.93E-02	1.03E-02	3.71E-03
Autres	8.44E-01	7.62E-02	7.62E-02
Émissions sur site	3.72E+01	4.60E+00	4.69E+00
<b>Total</b>	<b>6.05E+01</b>	<b>3.53E+01</b>	<b>3.54E+01</b>

	Moyenne mondiale (donnée générique)	Moyenne AmN (donnée générique)	Québec (donnée générique adaptée)
Ressources (MJ)			
Concentré de cuivre	4.08E+01	3.96E+01	3.96E+01
Carburants	1.15E+01	2.06E+01	2.06E+01
Électricité	2.74E+00	2.01E+00	1.31E-01
Autres	6.14E+00	6.30E+00	6.30E+00
Émissions sur site	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
<b>Total</b>	<b>6.12E+01</b>	<b>6.85E+01</b>	<b>6.66E+01</b>

# ANNEXE A - Résultats

## Production d'un câble de cuivre

➤ Comparaison des résultats pour le câble de cuivre pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)



# ANNEXE A - Résultats

## Production d'un câble de cuivre

➤ Comparaison des résultats pour le câble de cuivre pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)

	Moyenne mondiale (donnée générique)	Québec (donnée adaptée)
	Changement climatique (kg CO2 eq)	
Cuivre	2.79E+00	3.17E+00
Mise en forme	5.65E-01	2.70E-01
Autres composants	6.17E-01	6.17E-01
<b>Total</b>	<b>3.97E+00</b>	<b>4.05E+00</b>

	Moyenne mondiale (donnée générique)	Québec (donnée adaptée)
	Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an)	
Cuivre	4.38E+01	2.33E+01
Mise en forme	8.14E-01	7.83E-01
Autres composants	5.41E-02	4.43E-02
<b>Total</b>	<b>4.46E+01</b>	<b>2.41E+01</b>

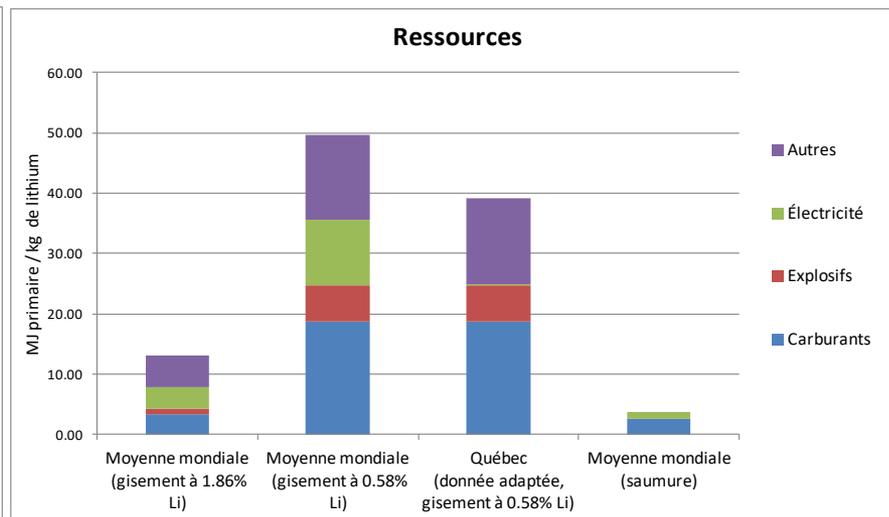
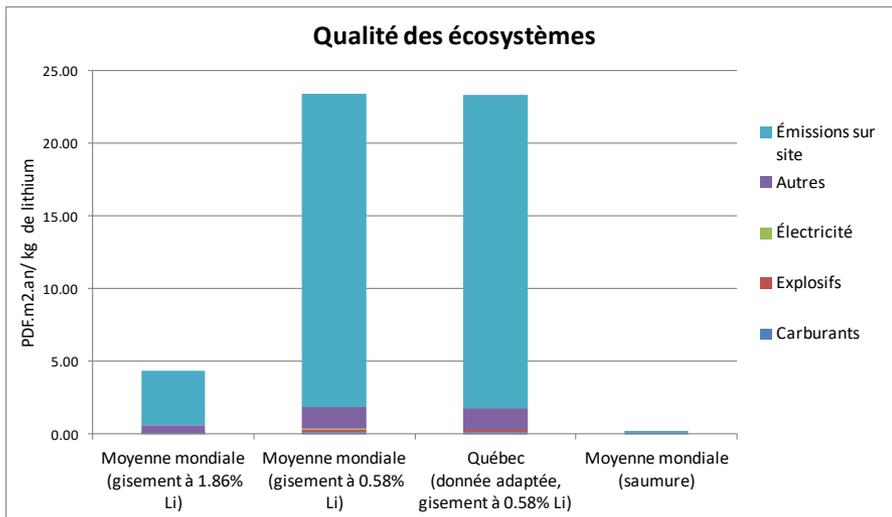
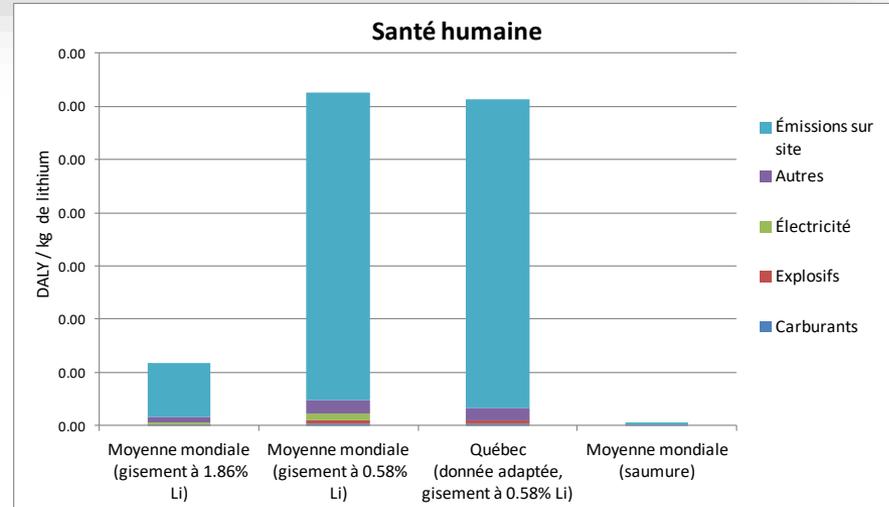
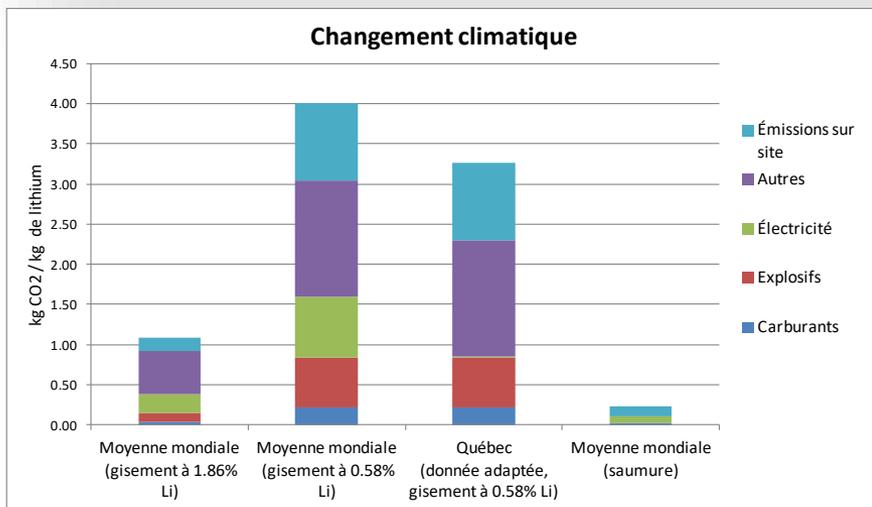
	Moyenne mondiale (donnée générique)	Québec (donnée adaptée)
	Santé humaine (DALY)	
Cuivre	5.58E-05	4.20E-05
Mise en forme	1.44E-06	1.14E-06
Autres composants	7.37E-07	5.71E-07
<b>Total</b>	<b>5.80E-05</b>	<b>4.37E-05</b>

	Moyenne mondiale (donnée générique)	Québec (donnée adaptée)
	Ressources (MJ)	
Cuivre	6.49E+01	4.47E+01
Mise en forme	7.11E+00	4.16E+00
Autres composants	2.89E+01	2.73E+01
<b>Total</b>	<b>1.01E+02</b>	<b>7.62E+01</b>

# ANNEXE A - Résultats

## Extraction de lithium

➤ Comparaison des résultats pour l'extraction de lithium (à partir de spodumène ou de saumure, ramené au kg de lithium extrait pour les quatre catégories d'impact étudiées)  
(méthode Impact 2002+)



# ANNEXE A - Résultats

## Extraction de lithium

➤ Comparaison des résultats pour l'extraction de lithium (à partir de spodumène ou de saumure, ramené au kg de lithium extrait pour les quatre catégories d'impact étudiées)  
(méthode Impact 2002+)

	Québec (donnée adaptée)	Moyenne mondiale (gisement à 1.86% Li)	Moyenne mondiale (gisement à 0.58% Li)	Moyenne mondiale (saumure)
Changement climatique (kg CO2 eq)				
Carburants	2.23E-01	3.89E-02	2.23E-01	3.31E-02
Explosifs	6.08E-01	1.06E-01	6.08E-01	0.00E+00
Électricité	2.61E-02	2.38E-01	7.61E-01	9.01E-02
Autres	1.44E+00	5.35E-01	1.44E+00	0.00E+00
Émissions sur site	9.69E-01	1.69E-01	9.69E-01	1.41E-01
Total	3.27E+00	1.09E+00	4.00E+00	2.64E-01

	Québec (donnée adaptée)	Moyenne mondiale (gisement à 1.86% Li)	Moyenne mondiale (gisement à 0.58% Li)	Moyenne mondiale (saumure)
Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an)				
Carburants	1.65E-02	9.43E-02	9.43E-02	1.27E-01
Explosifs	3.79E-02	2.17E-01	2.17E-01	0.00E+00
Électricité	2.14E-02	6.83E-02	1.14E-02	2.64E-02
Autres	5.30E-01	1.45E+00	1.45E+00	0.00E+00
Émissions sur site	3.78E+00	2.16E+01	2.16E+01	1.23E-01
Total	4.38E+00	2.34E+01	2.34E+01	2.76E-01

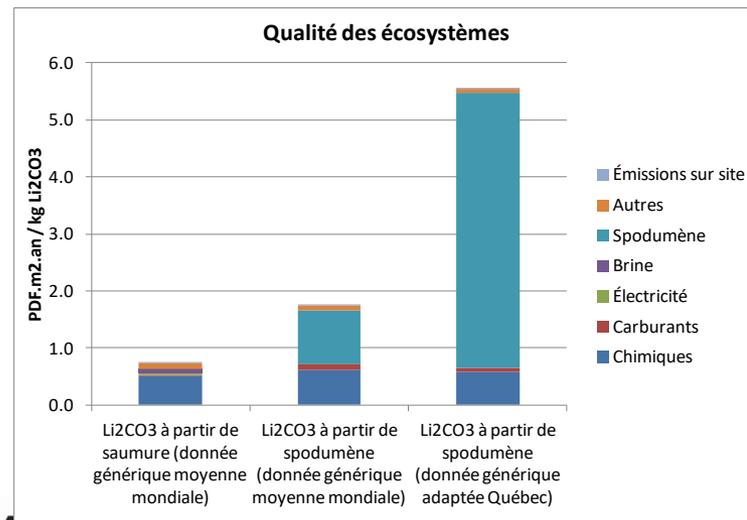
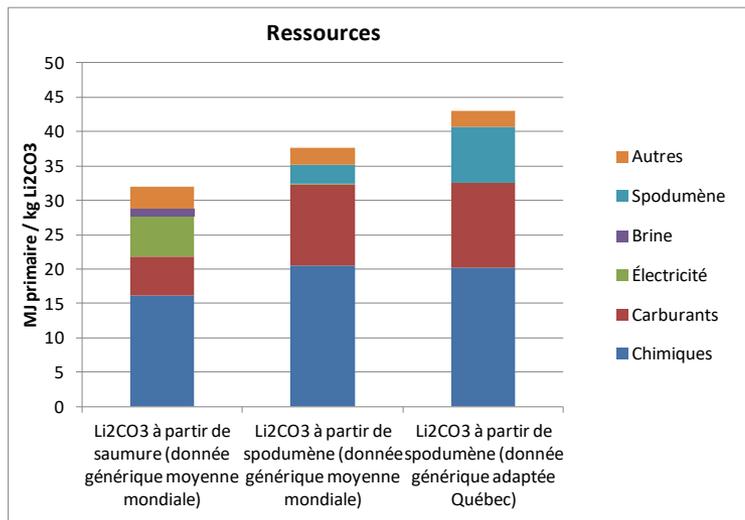
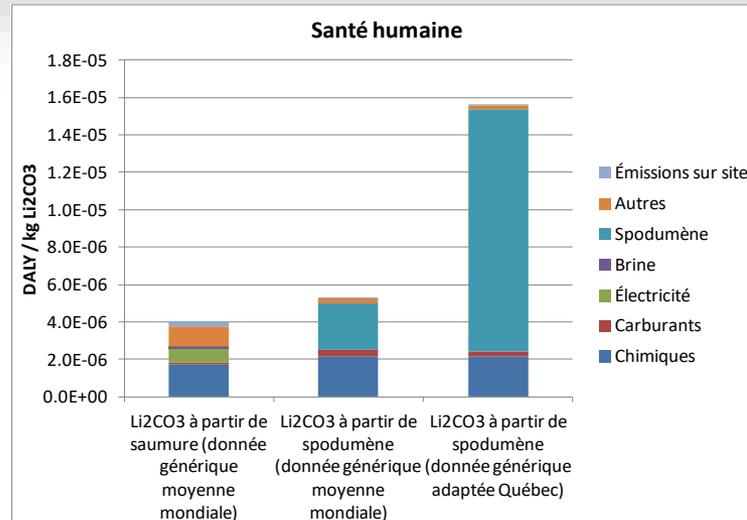
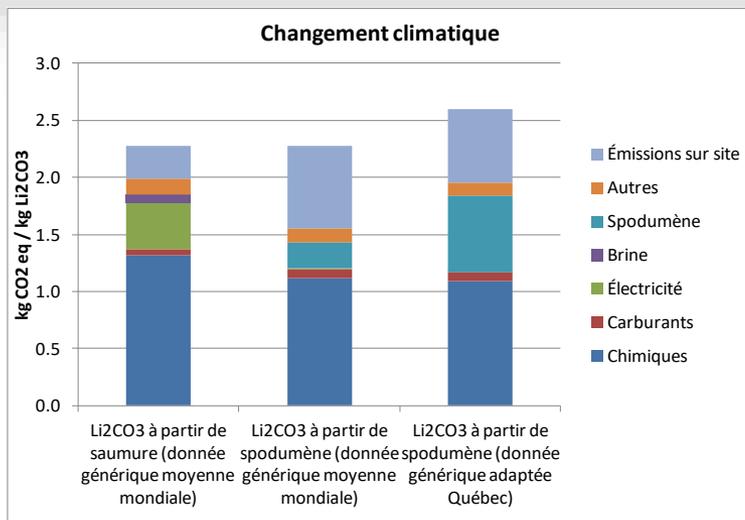
	Québec (donnée adaptée)	Moyenne mondiale (gisement à 1.86% Li)	Moyenne mondiale (gisement à 0.58% Li)	Moyenne mondiale (saumure)
Santé humaine (DALY)				
Carburants	4.90E-08	2.81E-07	2.81E-07	4.17E-08
Explosifs	1.14E-07	6.54E-07	6.54E-07	0.00E+00
Électricité	4.30E-07	1.37E-06	1.48E-08	1.66E-07
Autres	9.26E-07	2.39E-06	2.39E-06	0.00E+00
Émissions sur site	1.02E-05	5.80E-05	5.80E-05	3.05E-07
Total	1.17E-05	6.27E-05	6.13E-05	5.13E-07

	Québec (donnée adaptée)	Moyenne mondiale (gisement à 1.86% Li)	Moyenne mondiale (gisement à 0.58% Li)	Moyenne mondiale (saumure)
Ressources (MJ)				
Carburants	3.25E+00	1.86E+01	1.86E+01	2.77E+00
Explosifs	1.06E+00	6.05E+00	6.05E+00	0.00E+00
Électricité	3.43E+00	1.09E+01	2.99E-01	1.29E+00
Autres	5.42E+00	1.41E+01	1.41E+01	0.00E+00
Émissions sur site	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Total	1.32E+01	4.97E+01	3.91E+01	4.06E+00

# ANNEXE A - Résultats

## Production de $\text{Li}_2\text{CO}_3$

➤ Comparaison des résultats pour la production de 1kg de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (à partir de spodumène ou de saumure concentrés, pour les quatre catégories d'impact étudiées) (méthode Impact 2002+)



# ANNEXE A - Résultats

## Production de Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

➤ Comparaison des résultats pour la production de 1kg de Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (à partir de spodumène ou de saumure concentrés, pour les quatre catégories d'impact étudiées) (méthode Impact 2002+)

	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de saumure (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique adaptée Québec)
<b>Changement climatique (kg CO2 eq)</b>			
Produits chimiques	1.32E+00	1.12E+00	1.09E+00
Carburants	4.90E-02	8.05E-02	7.12E-02
Électricité	4.12E-01	7.21E-03	2.87E-04
Brine	6.70E-02	0.00E+00	0.00E+00
Spodumène	0.00E+00	2.28E-01	6.73E-01
Autres	1.42E-01	1.20E-01	1.18E-01
Émissions sur site	2.86E-01	7.24E-01	6.40E-01
<b>Total</b>	<b>2.28E+00</b>	<b>2.28E+00</b>	<b>2.60E+00</b>

	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de saumure (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique adaptée Québec)
<b>Qualité des écosystèmes (PDF.m2.an)</b>			
Produits chimiques	5.02E-01	6.11E-01	5.85E-01
Carburants	1.87E-02	1.07E-01	5.60E-02
Électricité	3.68E-02	5.75E-04	0.00E+00
Brine	6.94E-02	0.00E+00	0.00E+00
Spodumène	0.00E+00	9.47E-01	4.83E+00
Autres	1.09E-01	7.94E-02	7.64E-02
Émissions sur site	1.25E-02	6.82E-03	3.57E-03
<b>Total</b>	<b>7.49E-01</b>	<b>1.75E+00</b>	<b>5.55E+00</b>

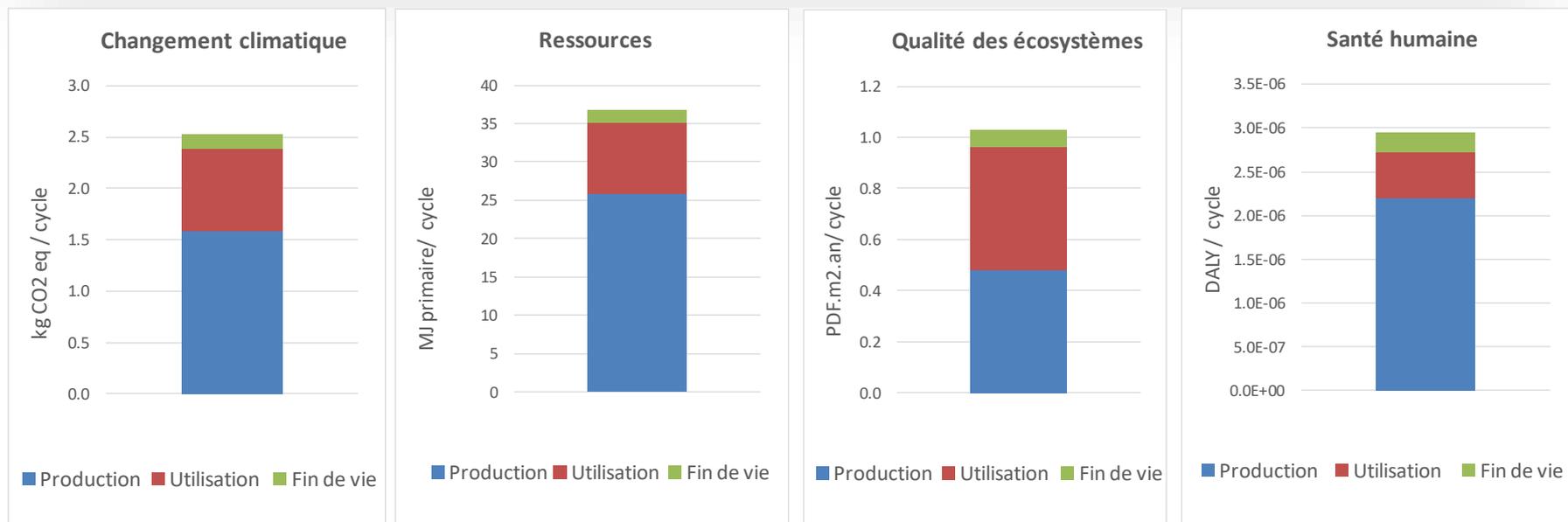
	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de saumure (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique adaptée Québec)
<b>Santé humaine (DALY)</b>			
Produits chimiques	1.74E-06	2.14E-06	2.13E-06
Carburants	8.38E-08	3.85E-07	3.06E-07
Électricité	7.40E-07	1.28E-08	0.00E+00
Brine	1.29E-07	0.00E+00	0.00E+00
Spodumène	0.00E+00	2.46E-06	1.29E-05
Autres	1.05E-06	2.34E-07	2.32E-07
Émissions sur site	3.05E-07	4.28E-08	3.40E-08
<b>Total</b>	<b>4.04E-06</b>	<b>5.27E-06</b>	<b>1.56E-05</b>

	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de saumure (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique moyenne mondiale)	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> à partir de spodumène (donnée générique adaptée Québec)
<b>Ressources (MJ)</b>			
Produits chimiques	1.61E+01	2.06E+01	2.02E+01
Carburants	5.78E+00	1.17E+01	1.23E+01
Électricité	5.86E+00	1.05E-01	4.71E-03
Brine	1.01E+00	0.00E+00	0.00E+00
Spodumène	0.00E+00	2.78E+00	8.13E+00
Autres	3.17E+00	2.40E+00	2.37E+00
Émissions sur site	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
<b>Total</b>	<b>3.19E+01</b>	<b>3.76E+01</b>	<b>4.30E+01</b>

# ANNEXE A - Résultats

## Batterie LMP

➤ Comparaison des résultats pour 1 cycle d'utilisation d'une batterie LMP, pour les quatre catégories d'impact étudiées (méthode Impact 2002+)



Indicateur	Changement climatique	Qualité des écosystèmes	Santé humaine	Ressources
Unité	kg CO2 eq	PDF.m2.an	DALY	MJ
Production	1.58E+00	4.79E-01	2.20E-06	2.58E+01
Utilisation	7.99E-01	4.82E-01	5.19E-07	9.31E+00
Fin de vie	1.36E-01	7.03E-02	2.31E-07	1.59E+00
<b>Total</b>	<b>2.52E+00</b>	<b>1.03E+00</b>	<b>2.95E-06</b>	<b>3.67E+01</b>

Champ de l'étude détaillé

# ANNEXE B – BATTERIE LMP

# ANNEXE B – Batterie LMP

## Champ de l'étude détaillé (1/2)

Le troisième volet de l'étude sur le lithium s'intéresse à un exemple de batterie LMP (lithium-métal polymère) produite au Québec. Le cas d'une batterie de 30 kWh pour véhicules est considéré.

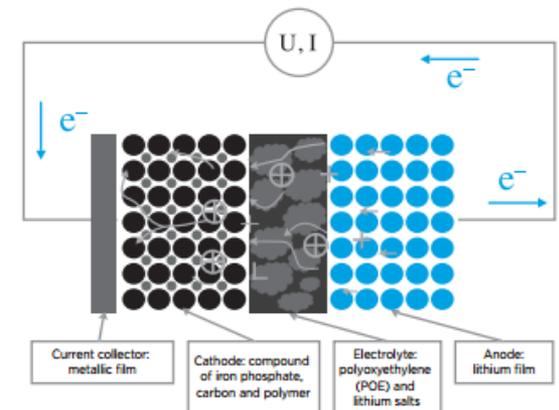
Cette batterie est produite au Québec, avec du lithium importé d'autres pays (voir diapositive suivante).

Les données et hypothèses pour cette étude sont tirées de données de la littérature (Cloutier, 2015; Majeau-Bettez, et al. 2011; Stamp et al., 2012). Il est donc possible qu'elles diffèrent des données réelles qui pourraient être collectées auprès du fabricant au Québec.

Caractéristiques de la batterie	Quantité
Volume	300 L *
Masse	300 kg *
Énergie	30 kWh *
Puissance max	45 kW *
Durée de vie	400000 km * 2000 cycles **

\* : Blue Solutions (2015)

\*\* : Hypothèse de modélisation



# ANNEXE B – Batterie LMP

## Champ de l'étude détaillé (2/2)

Les frontières du système pour l'étude de la batterie LMP sont décrites ci-dessous. Elles illustrent les différentes étapes considérées dans le cycle de vie « du berceau au tombeau » étudié. L'unité fonctionnelle étant un cycle de charge, seule une portion (1/nombre d'utilisations) de l'impact de la production et du recyclage de la batterie sont considérés.

