



ANALYSE DU CYCLE DE VIE ET BILAN DES GAZ À EFFET DE SERRE PROSPECTIFS DU GAZ DE SCHISTE AU QUÉBEC

Pierre-Olivier Roy, Ph.D.

Geneviève Martineau, M.Sc.A.

10 avril 2014

POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE





CIRAIG^{MC}

Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services



RAPPORT TECHNIQUE

ANALYSE DU CYCLE DE VIE ET BILAN DES GAZ À EFFET DE SERRE PROSPECTIFS DU GAZ DE SCHISTE AU QUÉBEC

NOVEMBRE 2013

Préparé pour

Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP)

Bureau de coordination sur les évaluations stratégiques
675, boul. René-Lévesques Est, 8^e étage
Québec (Québec)
G1R 5V7

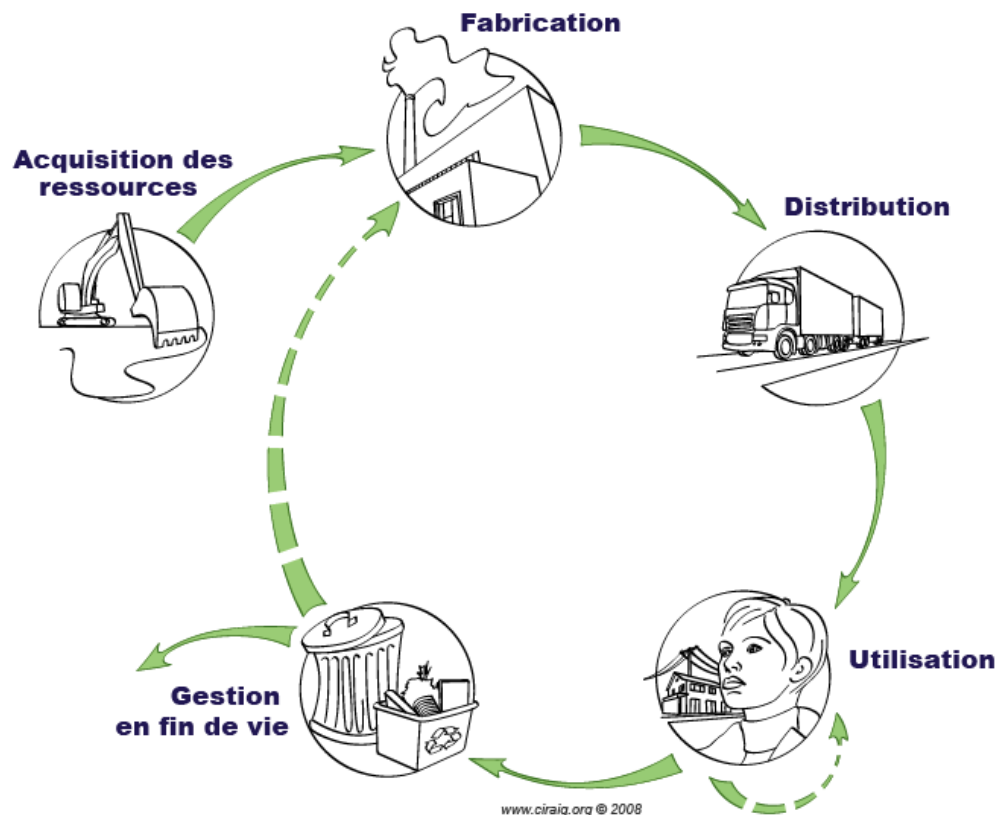
Étude réalisée dans le cadre du Plan de réalisation de l'évaluation environnementale stratégique sur le gaz de schiste.

Plan de la présentation

- Mise en contexte:
Qu'est-ce que l'analyse du cycle de vie?
- Revue de la littérature
- Profil environnemental prospectif du gaz de schiste au Québec
- Analyse comparative dans des utilisations spécifiques de:
 - **Production de chaleur**
 - **Déplacement d'un autobus**
- Bilan GES "d'entreprise" (émissions sur site)
- Conclusions

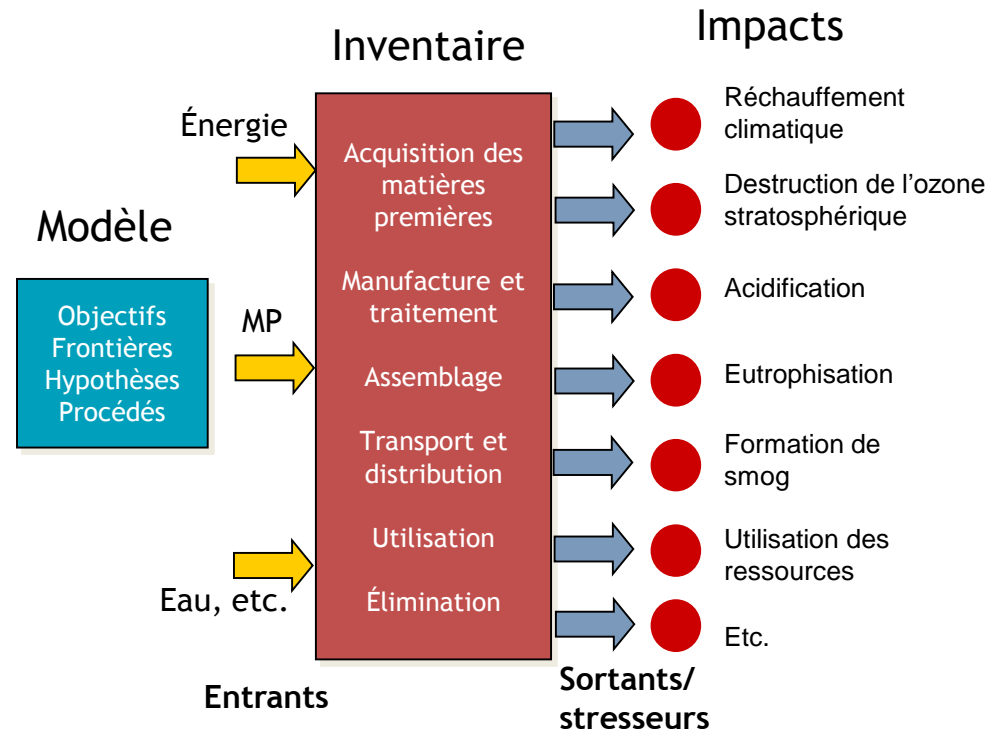
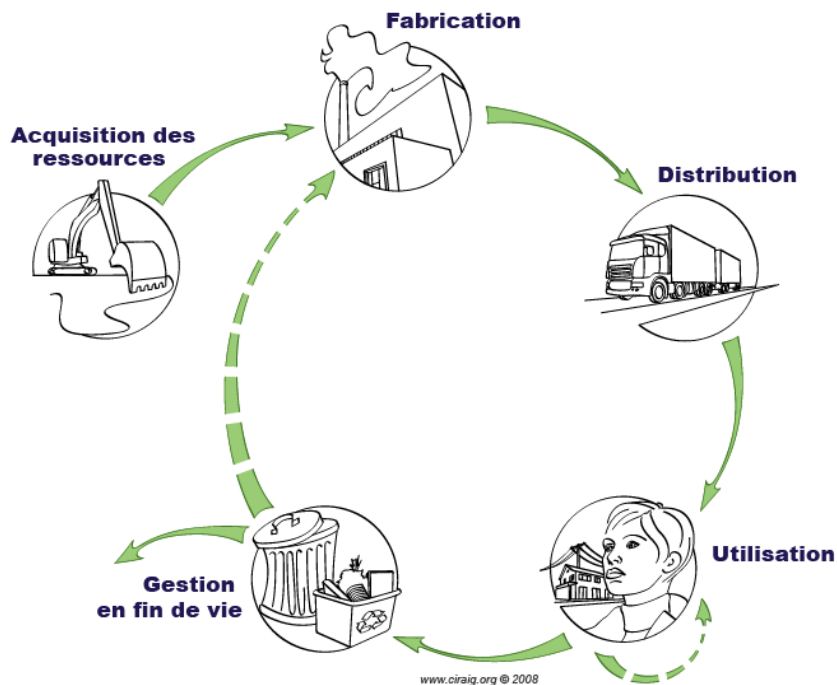
Qu'est-ce que l'analyse du cycle de vie?

Analyse du cycle de vie: basée sur la pensée cycle de vie



L'analyse du cycle de vie: un outil privilégié

- 🌐 **L'analyse du cycle de vie (ACV)** est l'outil méthodologique qui 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**.



Revue de la littérature

Études existantes alimentant la controverse de l'évaluation des GES

Auteurs (année)	Contexte géographique	Titre	Commentaire
Bilan de gaz à effet de serre			
Burnham et coll. (2012)	États-Unis	Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Shale Gas, Natural Gas, Coal, and Petroleum	Comparé au gaz conventionnel, au charbon et au pétrole.
Cathles et coll. (2012)	Général	A commentary on 'The greenhouse gas footprint of natural gas in shale formations	Comparé au charbon.
Environmental Protection Agency (U.S. EPA, 2010a)	États-Unis	Greenhouse gas emissions reporting from the petroleum and natural gas industry - Background technical support document	Première évaluation des émissions fugitives du gaz de schiste
Howarth et coll. (2011)	États-Unis (Louisiane, Texas, Utah, Colorado)	Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations	Se distingue par une évaluation des émissions fugitives plus élevés. Compare au gaz conventionnel, au charbon et au diesel.
Howarth et coll. (2012)	États-Unis	Venting and leaking of methane from shale gas development: response to Cathles et coll.	Comparé au gaz conventionnel, au charbon et au diesel.
Hughues (2011)	États-Unis	Life cycle greenhouse gas emissions from shale gas compared to coal: an analysis of two conflicting studies	Article corrigeant les valeurs et conclusions avancées par Skone (2011)
Jiang et coll. (2011)	États-Unis (Bassin de Marcellus)	Life cycle greenhouse gas emissions of Marcellus schiste gas	Comparé au GC, charbon et au gaz naturel liquéfié (GNL)
O'Sullivan (2012)	États-Unis	Shale gas production: potential versus actual greenhouse gas emissions	Couvre 3 948 puits aux États-Unis en 2010
Skone (2011)	États-Unis	Life Cycle Greenhouse Gas Analysis of Natural Gas Extraction & Delivery in the United States	Comparé au gaz conventionnel et au charbon
Stephenson et coll. (2011)	États-Unis	Modeling the Relative GHG Emissions of Conventional and Shale Gas Production	Comparé au gaz conventionnel
Analyse comparative de diverses études (basée sur le bilan de gaz à effet de serre)			
Alvarez et coll. (2012)	États-Unis	Greater focus needed on methane leakage from natural gas infrastructure	Tente d'évaluer l'ampleur des émissions fugitives qui rendrait le gaz de schiste équivalent à d'autres filières énergétiques
Weber et Clavin (2012)	États-Unis	Life Cycle Carbon Footprint of Shale Gas: Review of Evidence and Implications	Compare au gaz conventionnel. Article de revue critique.

➤ 0 étude ACV

➤ Plusieurs bilans GES (sur le site et sur le cycle de vie)

Contradiction des études existantes: émissions fugitives

Une différence majeure !!!!

(Université Cornell)

2% d'émissions
fugitives
SKONE 2011
(NETL)

Huges. 2011
(PC institute)

Jiang et coll. 2011
(Carnegie Mellon university)

Burnham et coll. 2012
(Agrone national laboratory)

Cathles et coll. 2012
(Université Cornell)

3 à 8 % d'émissions
fugitives

Évaluation des émissions fugitives dans notre étude

Quatre alternatives de base

(selon les *Scénarios de développement économiques* et le *Projet type*) :

Déploiement à petite échelle

1. **Productivité élevée** (85 Mm³/puits), taux d'émissions fugitives faible (**1%**), approvisionnement d'équipements éloigné (Alberta)
2. **Productivité élevée** (85 Mm³/puits), taux d'émissions fugitives élevée (**3%**), approvisionnement d'équipements éloigné (Alberta)

Déploiement à grande échelle

3. **Productivité faible** (70 Mm³/puits), taux d'émissions fugitives faible (**1%**), approvisionnement d'équipements local (Québec)
4. **Productivité faible** (70 Mm³/puits), taux d'émissions fugitives élevé (**3%**), approvisionnement d'équipements local (Québec)

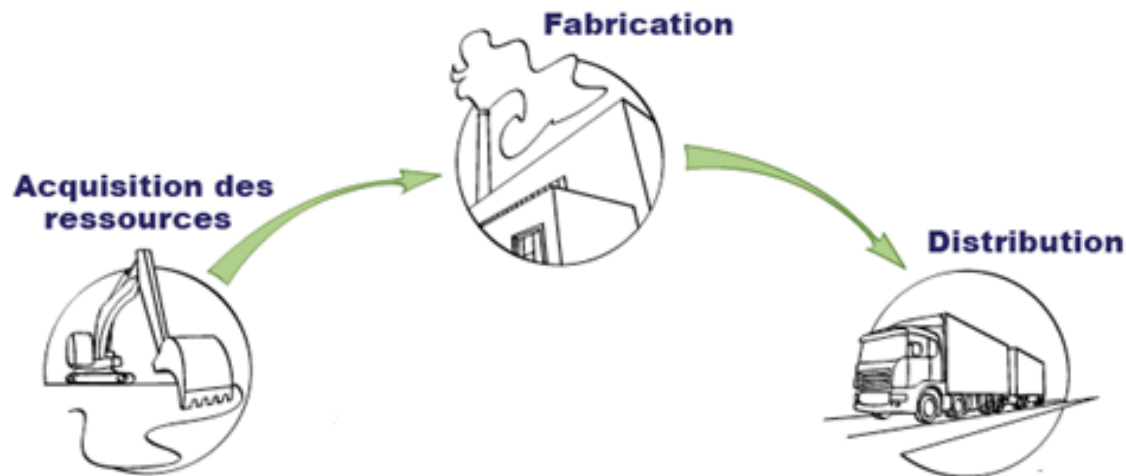
Note: Les 4 alternatives de base ne couvrant pas la plage de variabilité trouvée dans la littérature, des analyses de sensibilité incluant des cas extrêmes de productivité et d'émissions fugitives ont été réalisées

Profil environnemental du gaz de schiste

Objectifs – Unité fonctionnelle

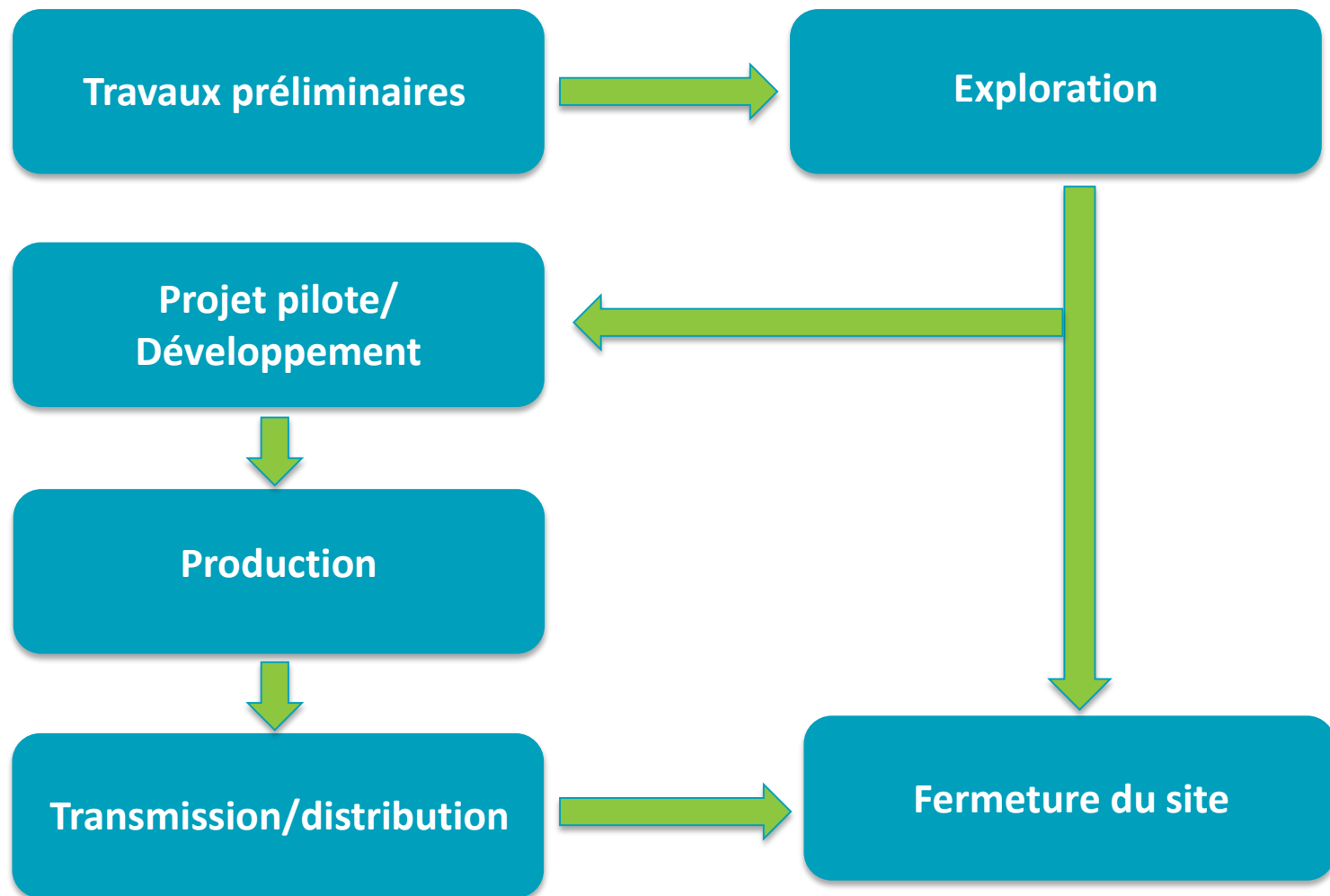
Évaluer le profil environnemental prospectif du gaz de schiste au Québec

- 1 MJ de gaz produit (1 m³ de gaz = 37,4 MJ)



Frontières du système: activités incluses dans le profil environnemental

Suivant la définition du *Projet Type* (présenté le 31 mars au BAPE); évaluation pour 1 site



Sources de données et méthode d'évaluation des impacts

Sources de données



Projet Type
(présenté le 31 mars au BAPE)

Évaluation des impacts potentiels

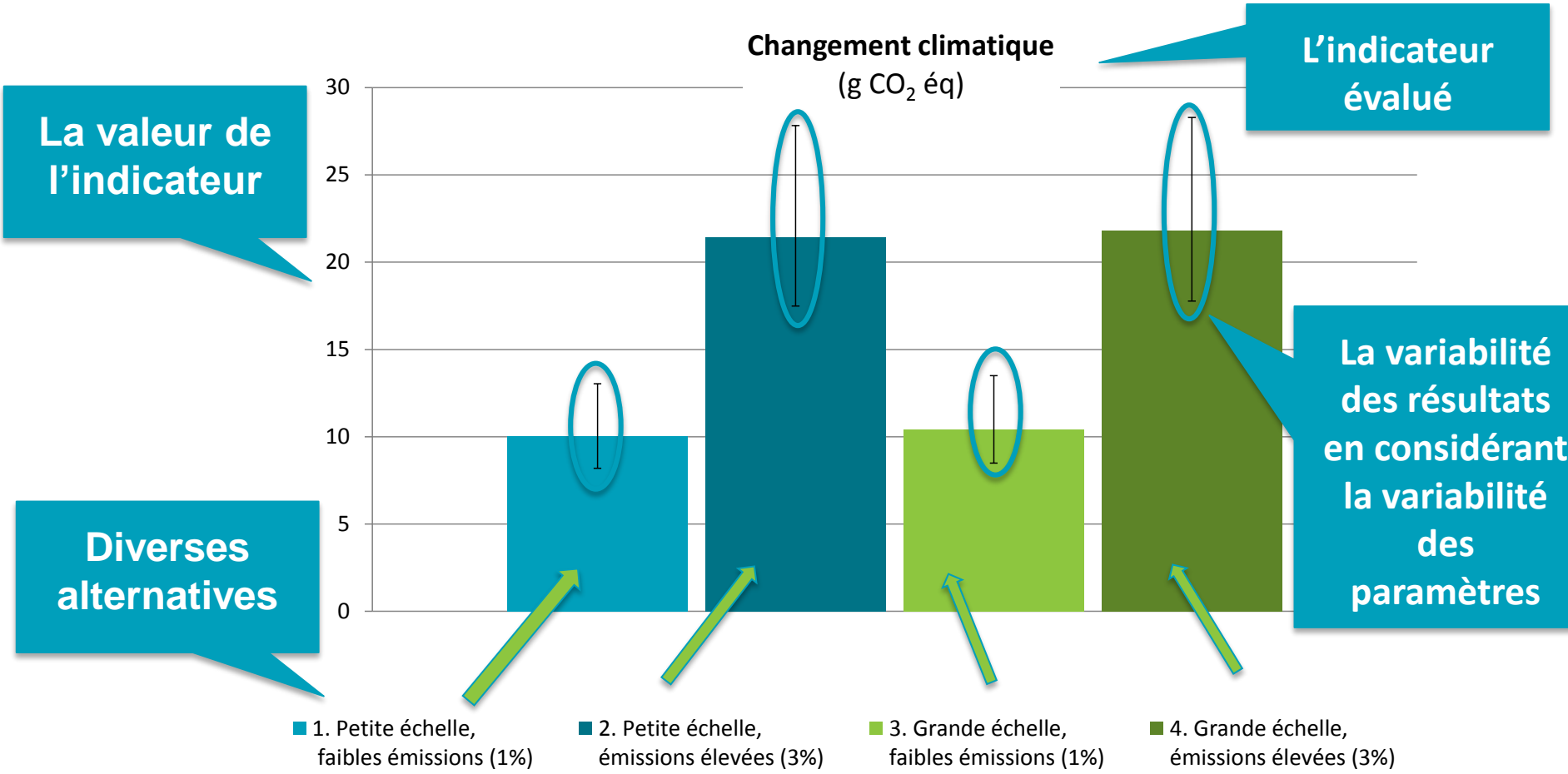
Santé humaine

Qualité des écosystèmes

Changement climatique

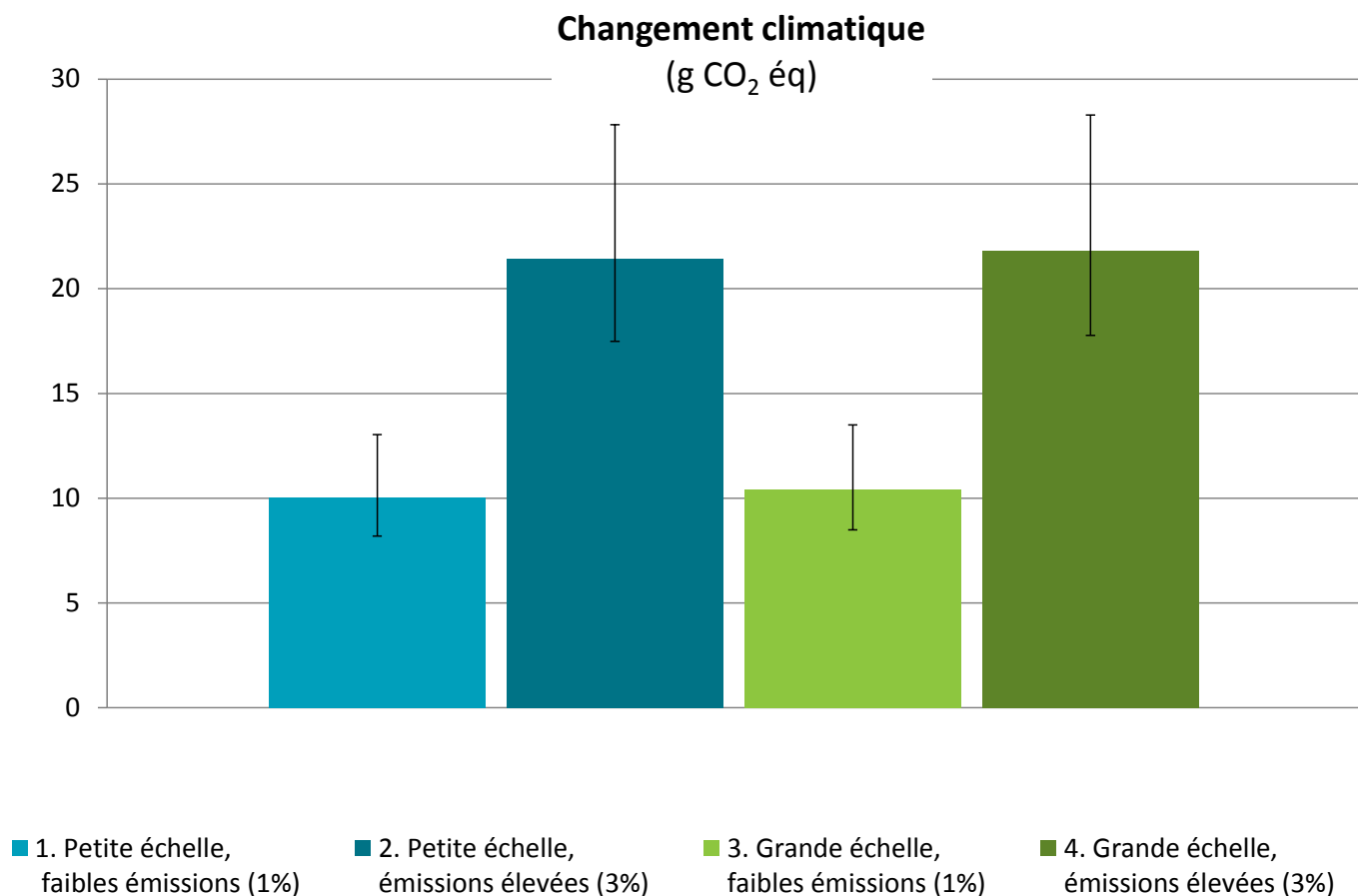
Ressources

Profil environnemental du gaz de schiste



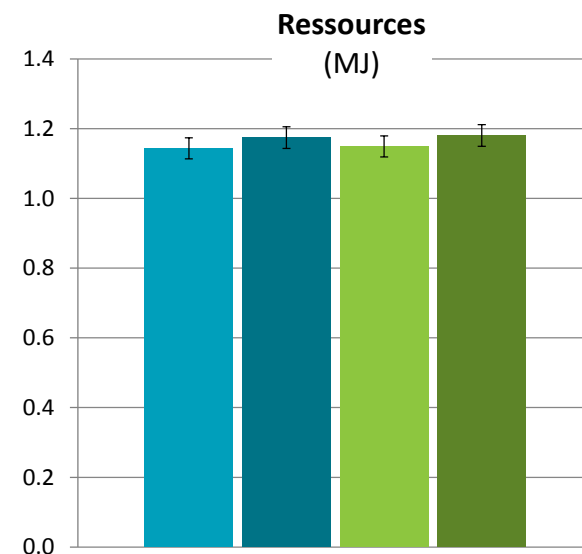
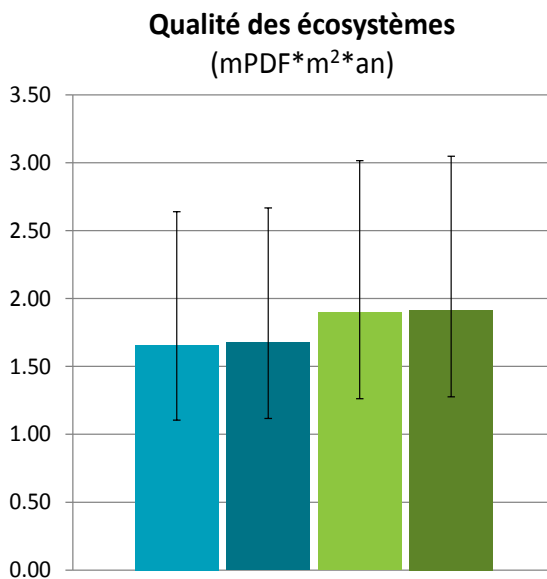
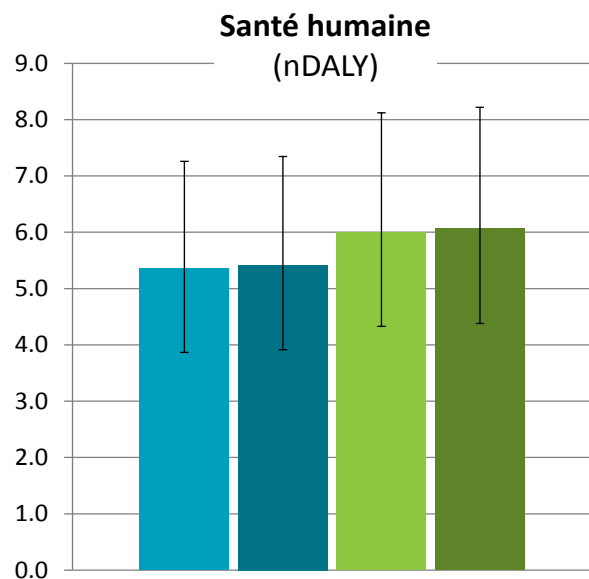
Note: Les 4 alternatives sont différenciables par le taux d'émissions fugitives; la productivité et les distances d'approvisionnement influencent peu les résultats.

Profil environnemental du gaz de schiste



C'est le taux de fuite qui a le plus d'influence sur l'indicateur *Changement climatique*

Profil environnemental du gaz de schiste



■ 1. Petite échelle,
faibles émissions (1%)

■ 2. Petite échelle,
émissions élevées (3%)

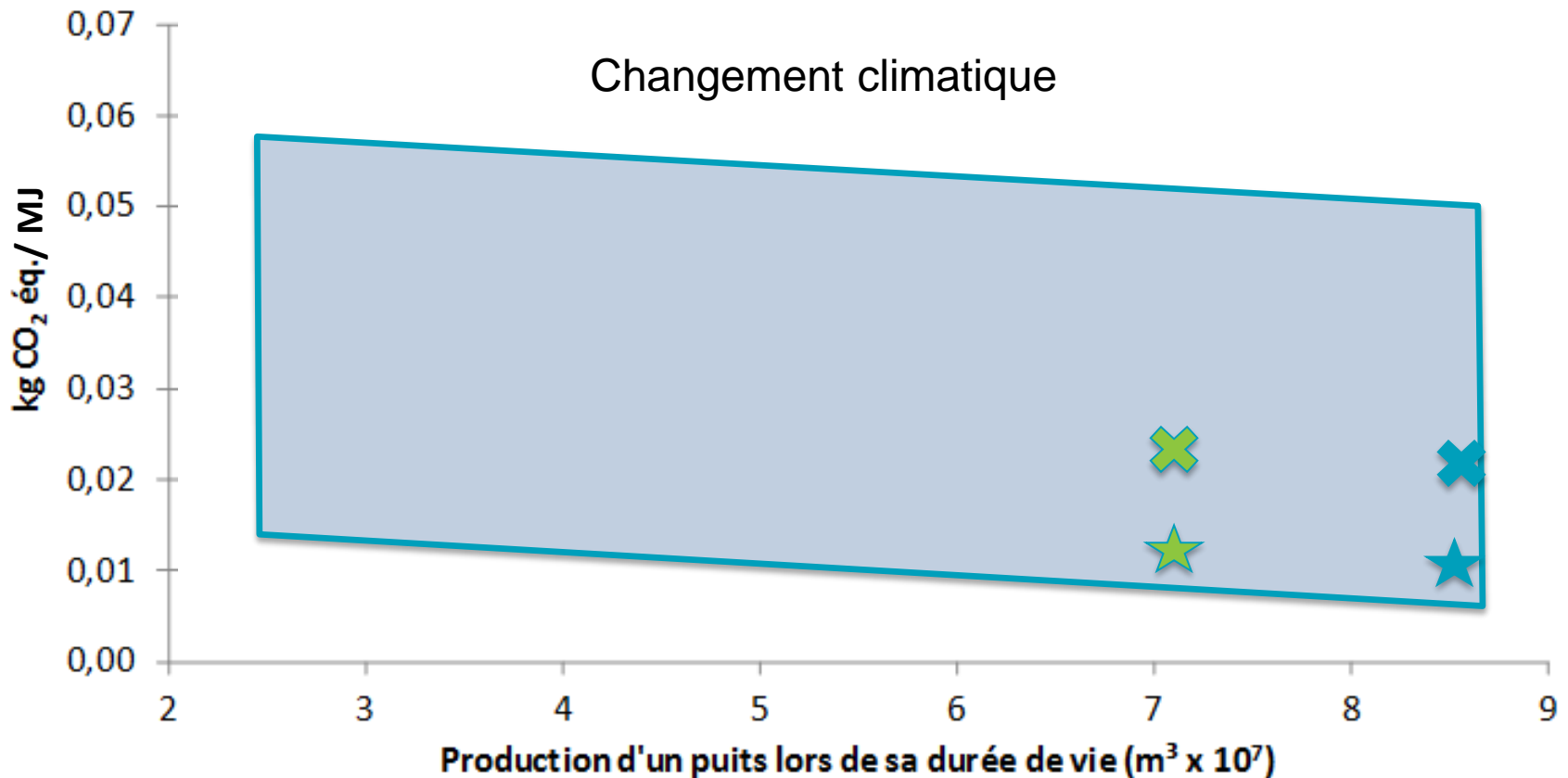
■ 3. Grande échelle,
faibles émissions (1%)

■ 4. Grande échelle,
émissions élevées (3%)

Note : Pour les trois autres indicateurs environnementaux, les différences entre les alternatives ne sont pas assez grandes pour les différencier.

Variation de la productivité d'un puits et des émissions fugitives

- Productivité par puits : 24 à 85 Mm³/puits
- Émissions fugitives : 0,5 % à 8 %



★ 1. Productivité élevée, émissions 1%

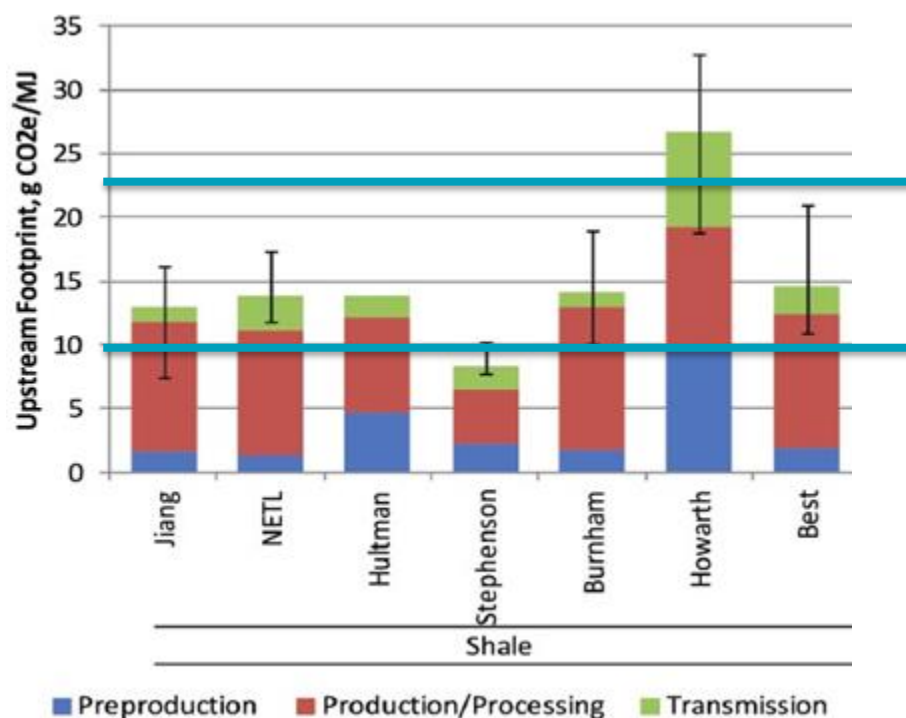
★ 3. Productivité faible, émissions 1%

17 ✕ 2. Productivité élevée, émissions 3%

✕ 4. Productivité faible, émissions 3%

Les alternatives étudiées : conclusions similaires à la littérature

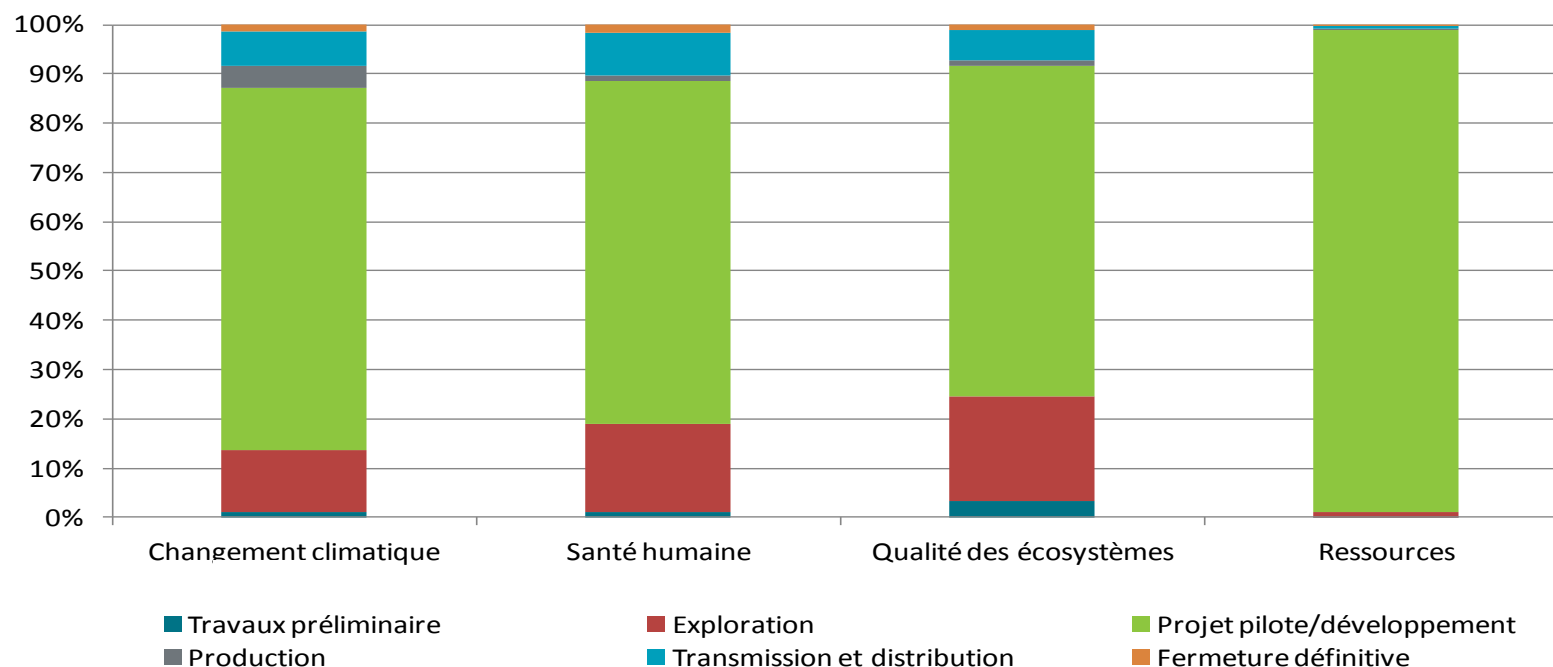
- ✓ Valeurs obtenues par les autres études : **entre 8 et 27 g CO₂ éq./MJ de gaz**



Weber et Clavin (2012)

- ✓ Valeurs obtenues pour le profil environnemental : **10 à 22 g CO₂ éq./MJ de gaz** produit (sur un horizon de 100 ans), selon les alternatives évaluées

Contribution des différentes étapes du cycle de vie



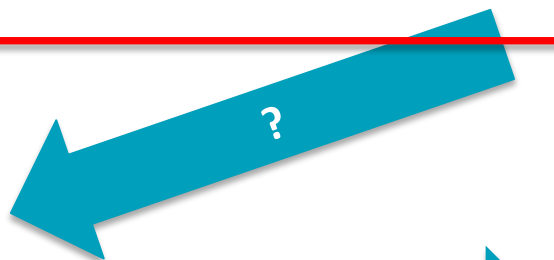
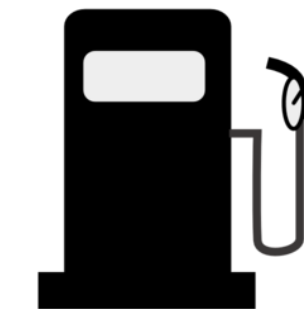
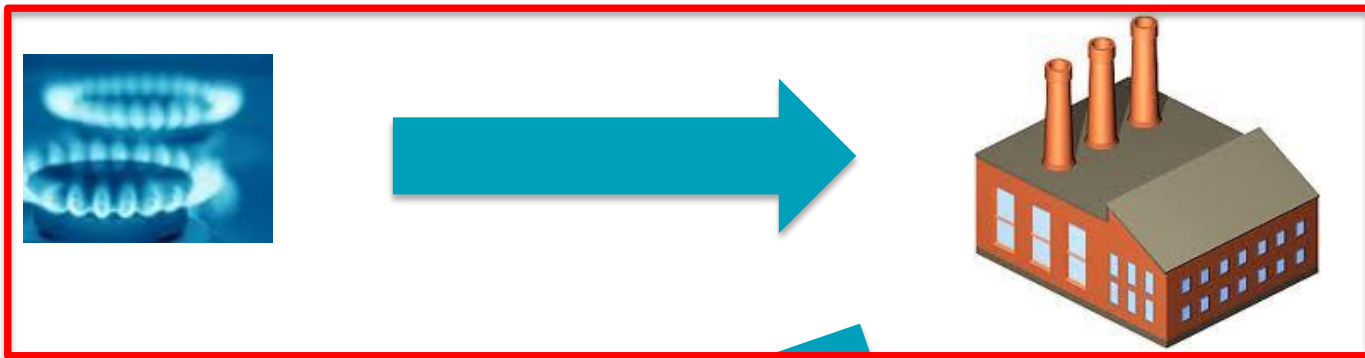
- ✓ **Travaux préliminaire:** 0,1 à 3 % des impacts potentiels
- ✓ **Exploration:** 1 à 21 % des impacts potentiels
- ✓ **Projet pilote/développement:** 67 à 98 % des impacts potentiels
- ✓ **Production:** 0,2 à 5 % des impacts potentiels
- ✓ **Distribution:** 0,6 à 9 % des impacts potentiels
- ✓ **Fermeture du site:** 0,1 à 2 % des impacts potentiels



Ce qui suit ne peut être utilisé afin de conclure des bénéfices environnementaux d'une filière énergétique comparativement à une autre

Pourquoi?

Parce que l'exercice n'est pas complet.



Bases de comparaisons

1. Production de chaleur

Fournir 1MJ de chaleur produite avec différentes chaudières servant au chauffage commercial/institutionnel

- gaz de schiste
- mazout
- électricité



2. Déplacement d'un autobus

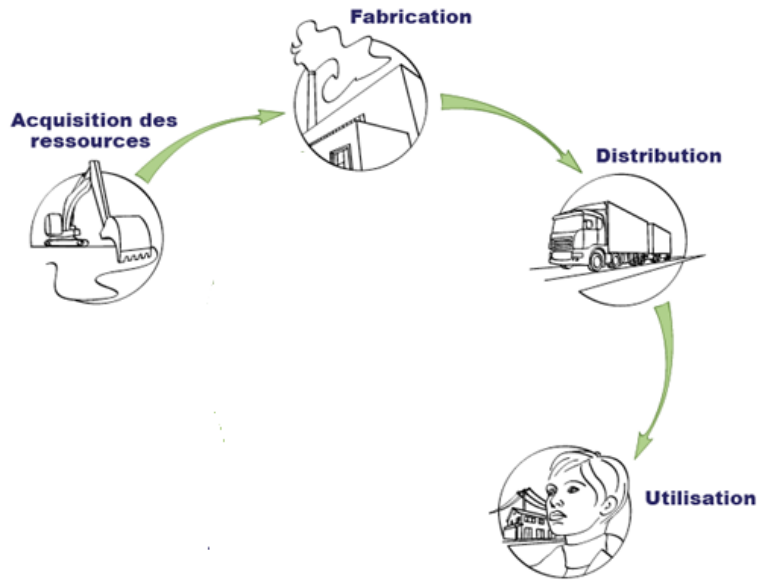
Déplacer un autobus sur une distance de 1 km

- gaz de schiste
- diesel

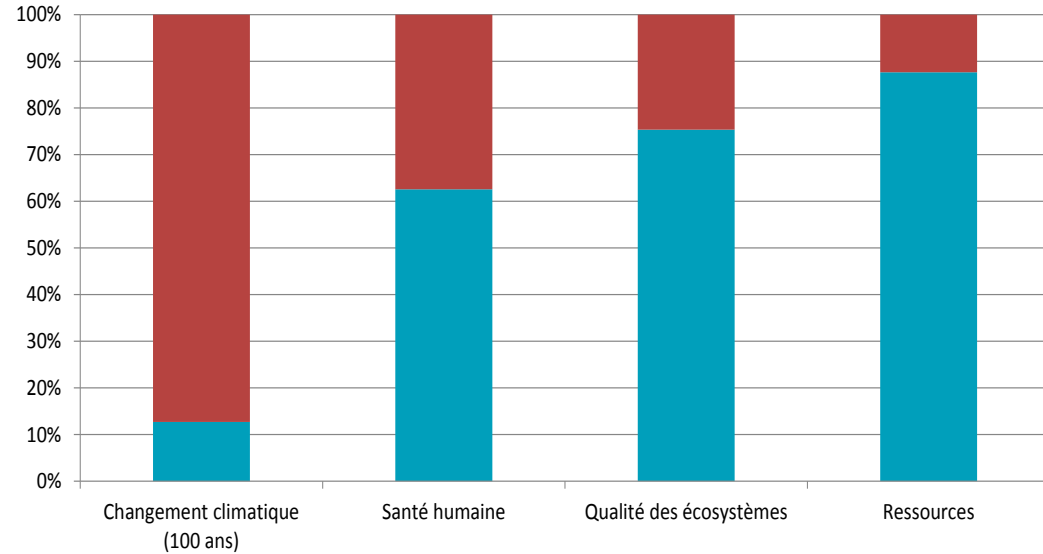


Source de données utilisée: base de données *ACV ecoinvent v.2.2*

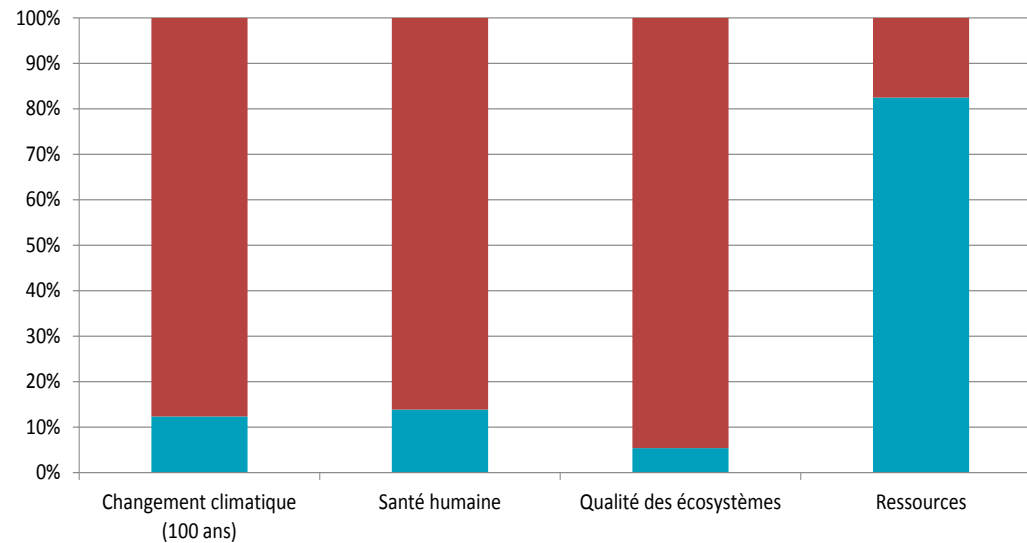
L'étape d'utilisation



www.ciraig.org © 2008



■ Production du gaz de schiste (amont) ■ Utilisation de la chaudière

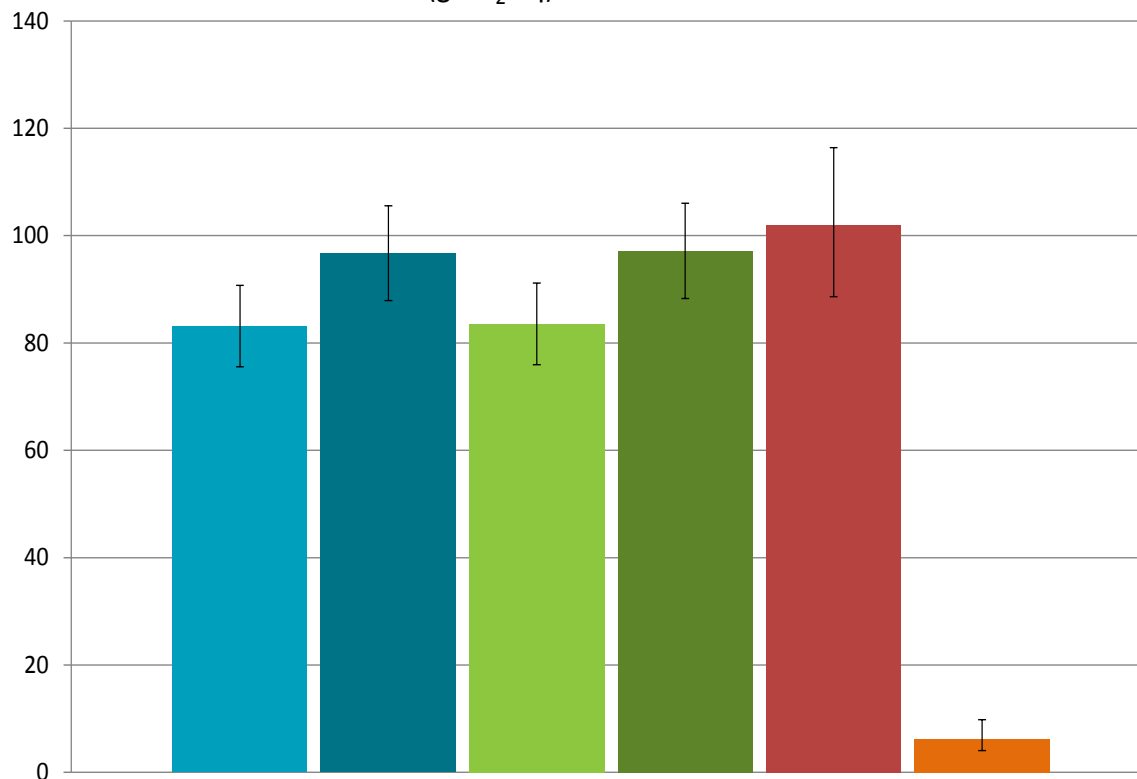


■ Production du gaz de schiste (amont) ■ Déplacement d'un autobus sur 1 km

Analyse comparative: production de chaleur



Changement climatique
(g CO₂ éq)



■ 1. Petite échelle,
faibles émissions (1%)

■ 2. Petite échelle,
émissions élevées (3%)

■ 3. Grande échelle,
faibles émissions (1%)

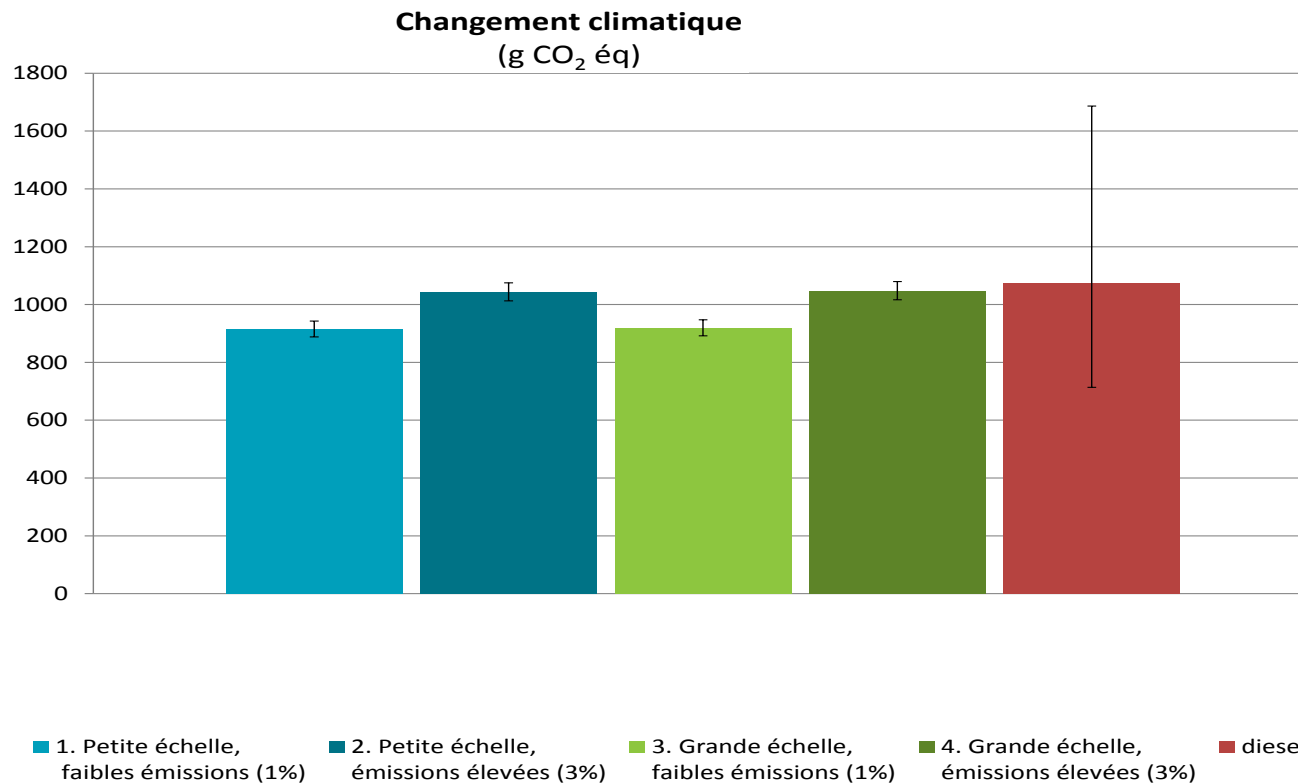
■ 4. Grande échelle,
émissions élevées (3%)

■ Mazout

■ Electricité

- ✓ **Mazout:**
Similaire au gaz de schiste
- ✓ **Électricité Qc:**
Largement favorable
aux gaz de schiste et
au mazout
- ✓ **Autres indicateurs:**
Non différenciables

Analyse comparative: déplacement d'un autobus



✓ **Diesel:** Non différentiable du gaz de schiste.

✓ **Autres indicateurs:** Non différentiables.

Bilan carbone

Bilan GES : émissions sur site et profil environnemental



Profil environnemental (émissions de types 1, 2 et 3)

Inclut:

- Émissions GES directement liées aux activités d'exploration et d'exploitation du gaz de schiste
- Émissions de sources qui ne sont pas contrôlées par l'entreprise gazière

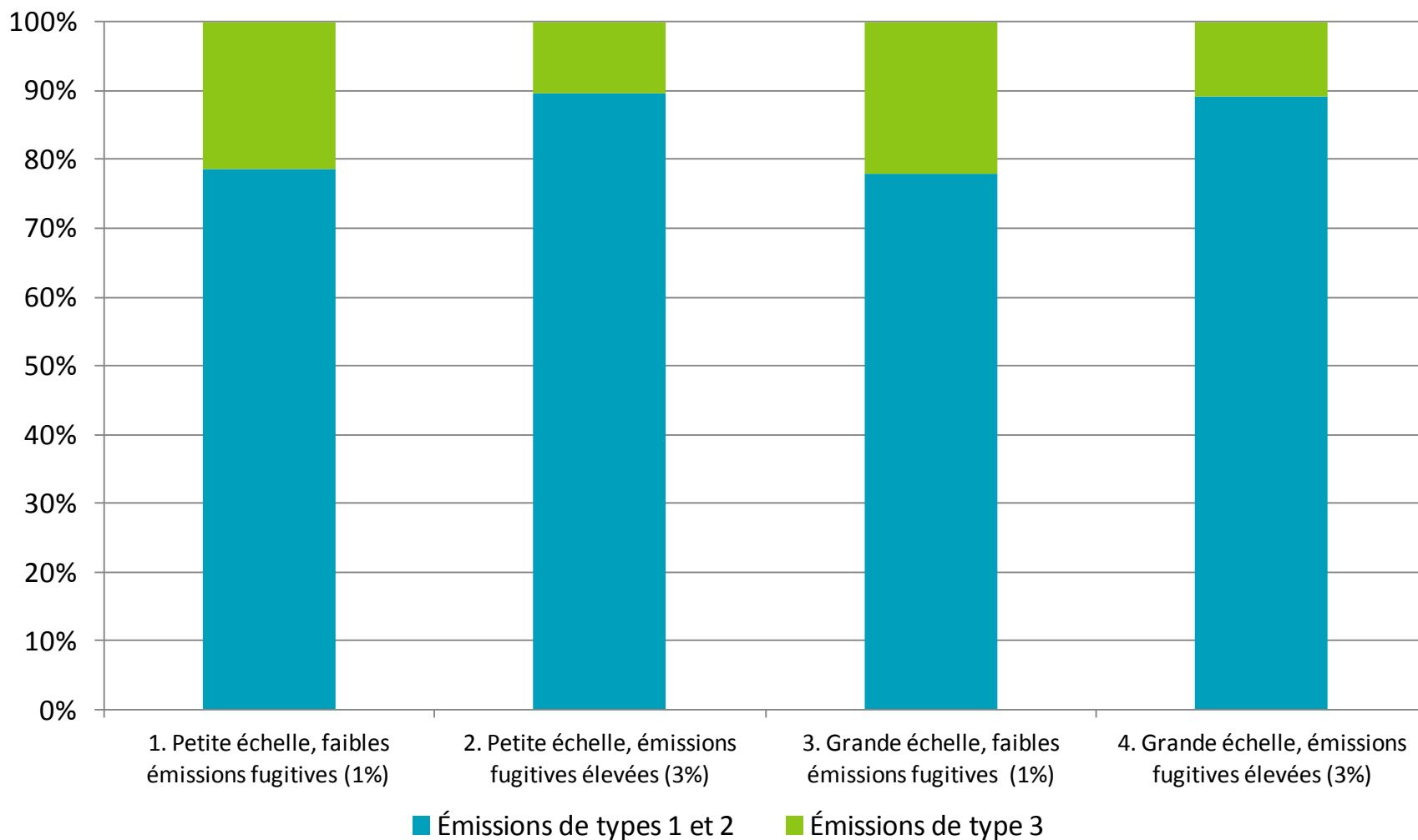


Émissions "sur site" (de types 1 et 2 seulement)

Ne considèrent que:

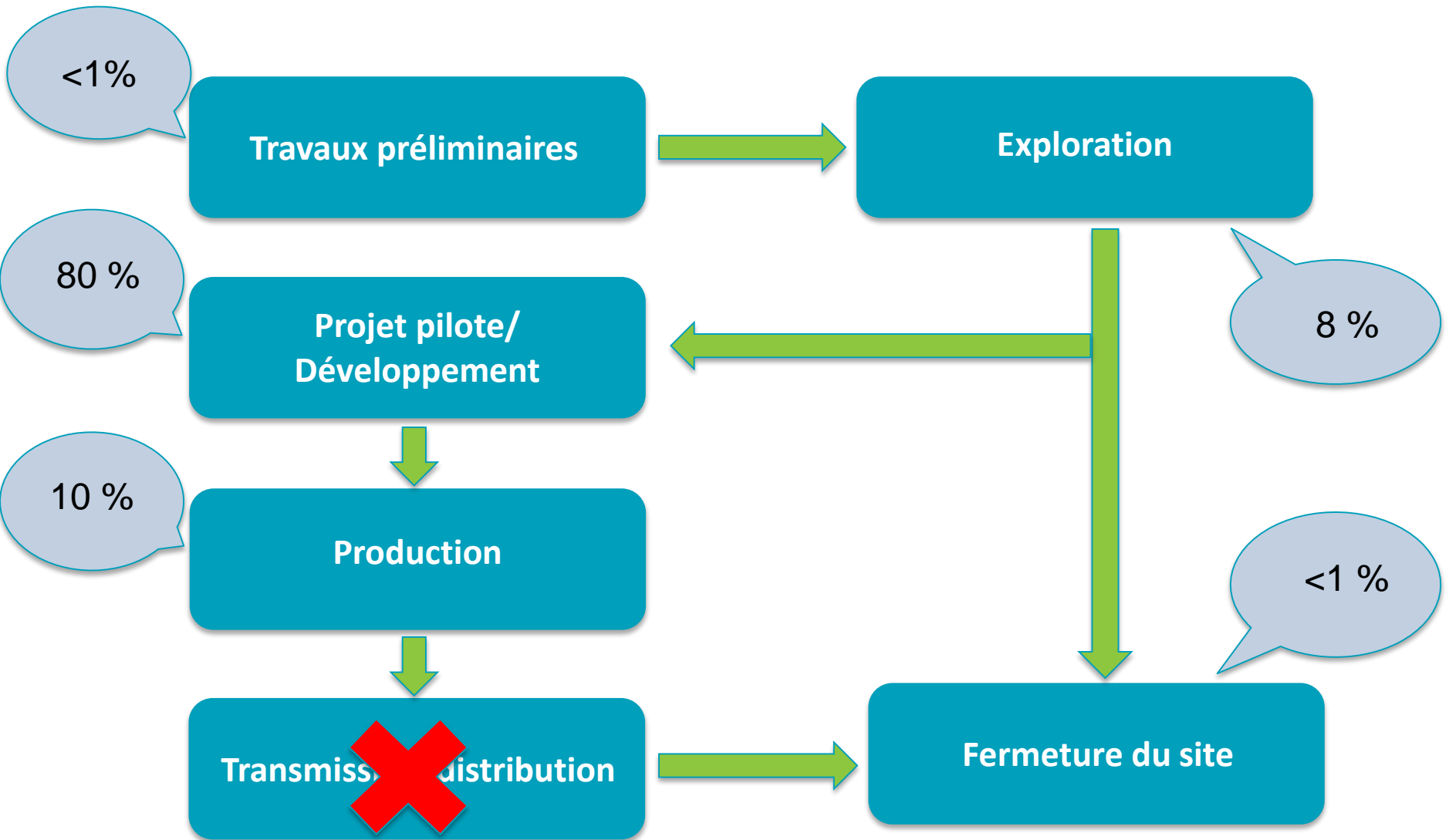
- Émissions fugitives du site (ex: CH₄); émissions dues à l'utilisation de machines ou d'équipements à combustion
- Émissions dues au transport à l'extérieur du site mais limité aux frontières du Québec
- Émissions indirectes dues à la consommation d'électricité sur le site
- Émissions dues au traitement du gaz

Bilan GES : émissions sur site et profil environnemental

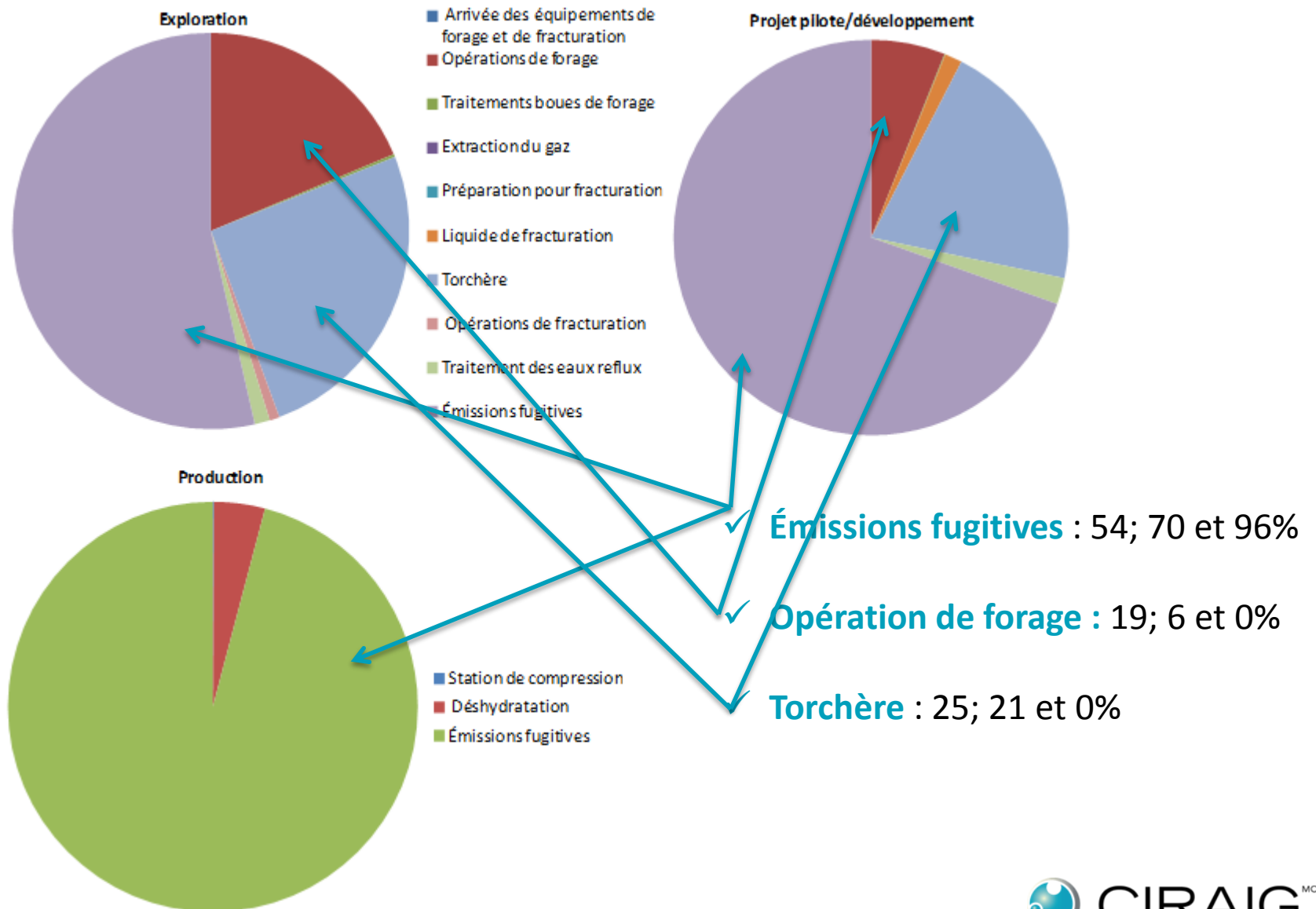


Émissions sur site: couvrent 80-90% des GES comptabilisés dans le profil environnemental

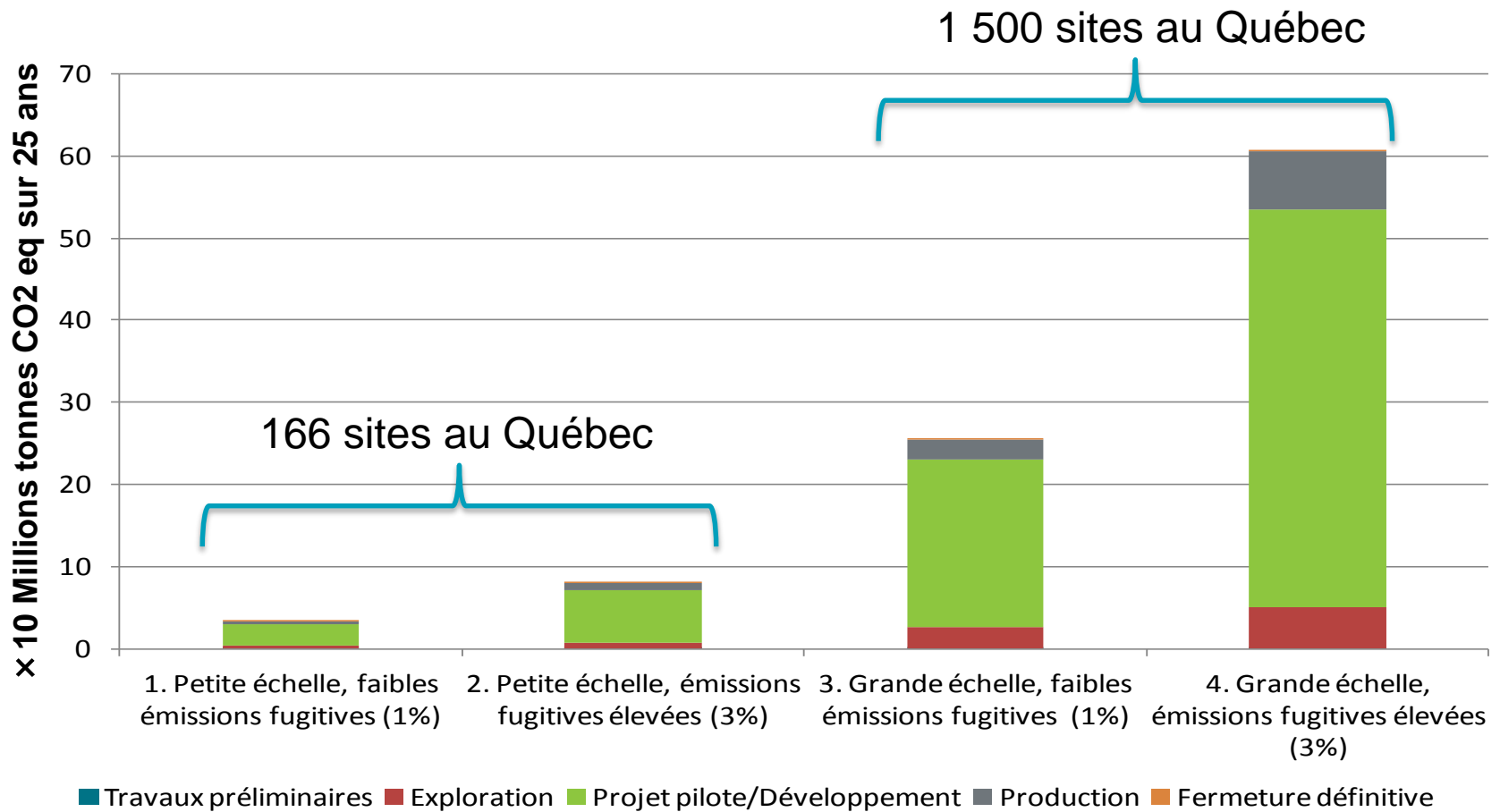
Bilan carbone d'une exploitation par étape du cycle de vie



Analyse de contribution



À l'échelle de la province: selon les scénarios économiques



Conclusions

Conclusions

- **Profil environnemental (production)**

- ✓ Les 4 alternatives de production du gaz de schiste sont différenciables selon l'indicateur *Changement climatique* (10 à 22 g CO₂ éq./MJ de gaz) ;
- ✓ Les indicateurs *Santé humaine*, *Qualité des écosystèmes* et *Ressources* ne permettent pas différencier les 4 alternatives

- **Analyse comparative - production de chaleur en chaudière**

- ✓ L'indicateur *Changement climatique* avantage l'électricité par rapport au gaz de schiste et au mazout
- ✓ Les options sont Indifférenciables pour tous les autres indicateurs environnementaux

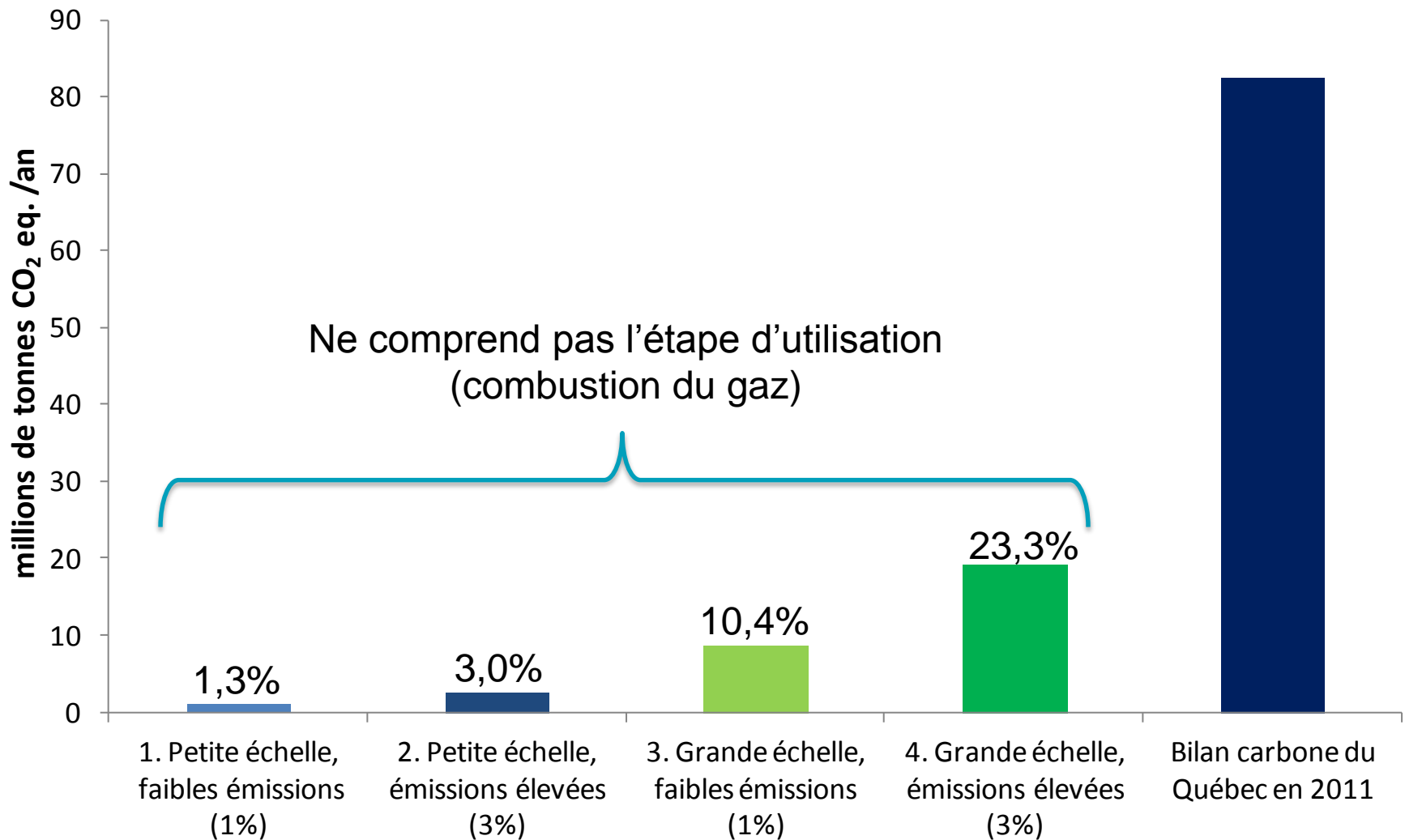


- **Analyse comparative - déplacement d'un autobus**

- ✓ Les options sont indifférenciables pour tous les autres environnementaux



Mise en perspective: comparaison avec le bilan carbone du Qc

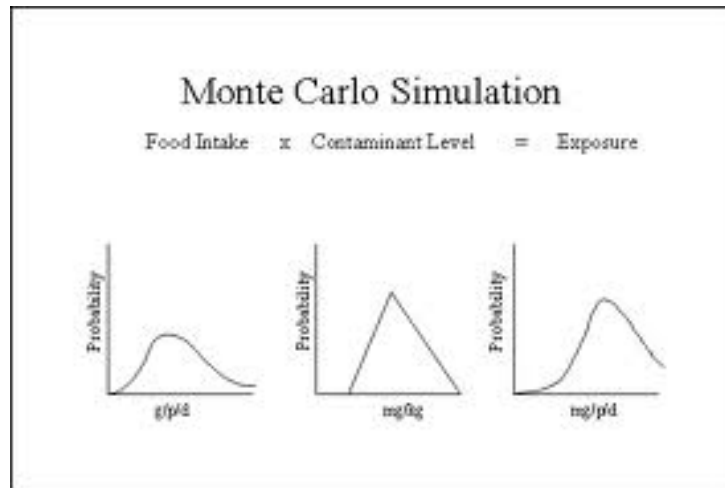


Questions ?



Matériel supplémentaire au besoin

Une note sur l'incertitude

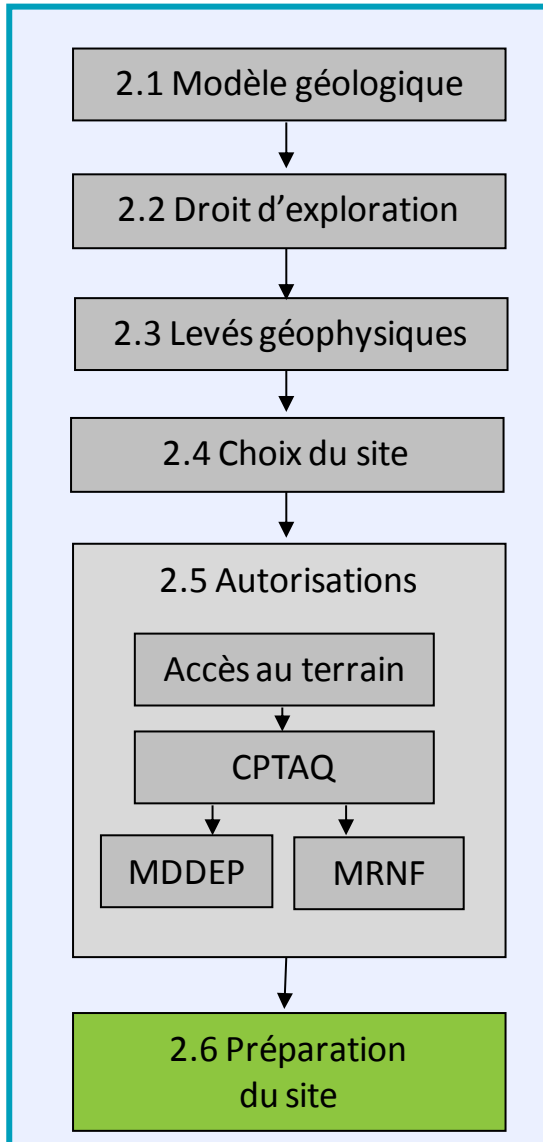


Système seul: calcule la valeur moyenne ainsi que les valeurs minimales et maximales représentant un intervalle de confiance de 95 %.

Systèmes comparés: soustrait deux systèmes que l'on souhaite comparer. Ainsi, les résultats indiquent la probabilité qu'une option ait des indicateurs plus élevés que l'autre.

Frontières du systèmes: Profil environnemental

2. Travaux Préliminaires



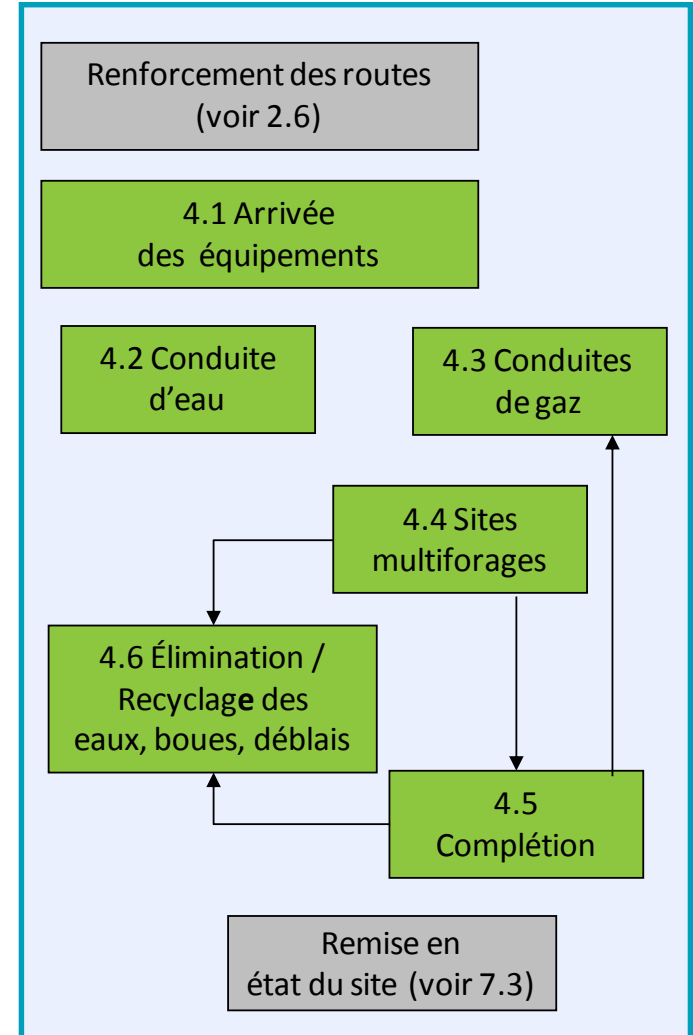
- ✓ Travail de bureau: exclu
- ✓ Machinerie (infrastructure et opérations)
- ✓ Matériaux (Production et transport)
- ✓ Occupation et transformation

Frontières du systèmes: Profil environnemental

Même étapes que pour l'exploration à la différence:

- Infrastructures passifs ont été laissé en place
- + puits et + de fracturations par puits
- - boues de forages et de liquide de fracturation « neuf » (i.e., réutilisation par puits) créés et éliminés
- + gaz extrait et d'émissions fugitives
- Gaz extrait sur le réseau plutôt qu'à la torchère
- Transport et infrastructure des conduites de gaz et des conduites d'eau

4. Projet pilote/Développement



Frontières du systèmes: Profil environnemental

5. Production

5.1 Stations de compression

- ✓ Infrastructure, opération et émissions des compresseurs (gaz pressurisé de de 100- 200 à 900 psi)

5.2 Unité de traitement des gaz

5.3 Séparation (*eau liquide*)

- ✓ Production et transport de triéthylène glycol
- ✓ Énergie et émissions liées à la déshydratation

5.4 Déshydratation

5.5 Pressurisation

5.6 Fracturation d'appoint

Frontières du systèmes: Profil environnemental

6. Transport Distribution

6.1
Branchement
au gazoduc

6.2 Entretien
du réseau

6.3 Distribution

- ✓ Conduite pour amener le gaz de la station de pompage au réseau de distribution. Inclut les matériaux et leur transport.
- ✓ Infrastructure, opération et émissions des compresseurs (maintenir le gaz pressurisé à 900 psi)
- ✓ Réseau de gaz métré négligé

Frontières du systèmes: Profil environnemental

- ✓ Infrastructures et transport des équipements
- ✓ Retrait des tuyaux des puits, et leur remplissage par de la boue
- ✓ Transport des tuyaux du site au lieu de gestion (enfouissement)
- ✓ Excavation et transport de terre pour la production de boue
- ✓ Énergie de pompage de la boue incluse
- ✓ Production et transport du ciment inclus
- ✓ Retour à une utilisation agricole

7. Fermeture définitive

7.1 Arrivée équipement

7.2 Fermeture du puits

7.3 Remise en état du site

Conclusions du profil environnemental

- Le **taux d'émissions fugitives**: extrêmement sensible pour les changements climatiques
- **Projet pilote – développement**: principal contributeur
 - ✓ **Les opérations de forage des puits, impliquant la combustion de diesel pour la machinerie et la production et le transport des tuyaux d'acier.**
 - ✓ **Pour l'indicateur *Changement climatique* : les émissions de combustion à la torchère et les émissions fugitives.**
 - ✓ **Pour l'indicateur *Qualité des écosystèmes* : l'enfouissement des boues de forage, à cause des métaux émis au sol. Ce résultat doit cependant être considéré avec prudence, vu les incertitudes liées au modèle de caractérisation employé.**
 - ✓ **Pour l'indicateur *Ressources* : l'extraction du gaz naturel, qui constitue une ressource non renouvelable**
- Les **travaux préliminaires, la production et la fermeture définitive**: contribution marginale.

1 MJ d'énergie à la chaudière

Globalement, on retient que...

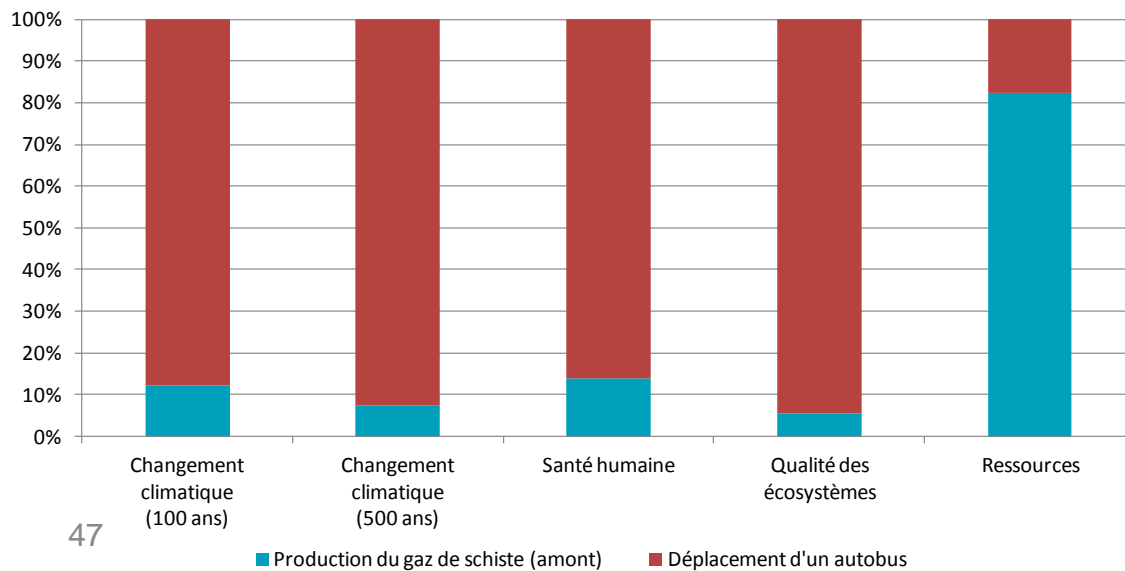
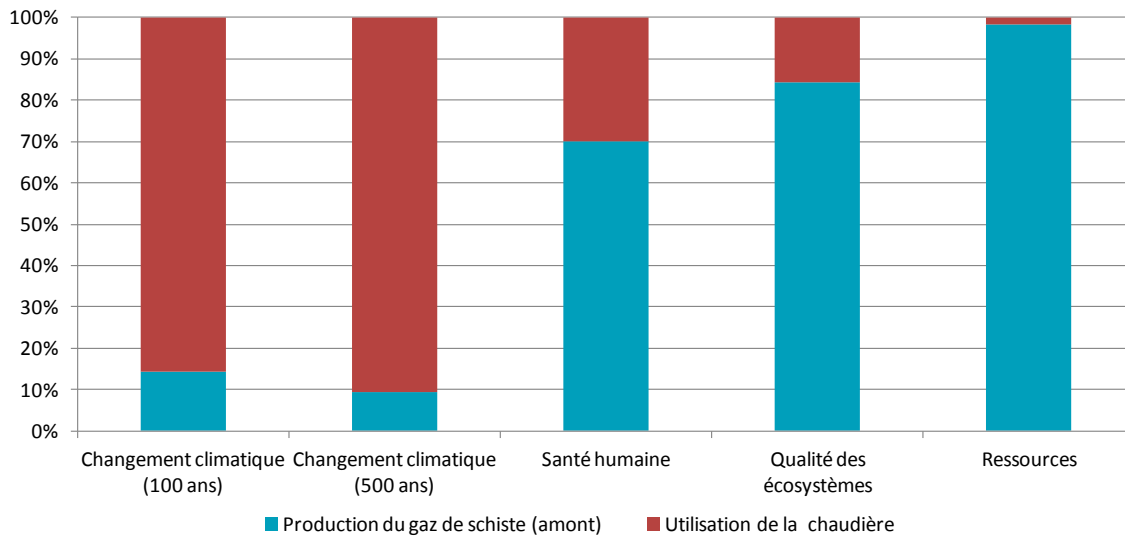
- **Le gaz de schiste est équivalent au du gaz naturel conventionnel.** Bien que la méthode IMPACT 2002+ conclut que le gaz de schiste est défavorisé selon l'indicateur *Qualité des écosystèmes*, l'analyse de sensibilité impliquant d'autres méthodes d'évaluation des impacts tend à montrer l'équivalence entre les deux types de gaz.
- **Le gaz de schiste tend à être favorisé par rapport au mazout.** Selon les indicateurs *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes*, le mazout est défavorisé ; selon *Ressources*, les deux combustibles sont équivalents ; et pour *Changement climatique*, les conclusions sont variables selon le taux d'émissions fugitives du gaz de schiste et l'horizon de temps considéré. Ainsi, lorsque les potentiels de réchauffement global sur 100 ans sont employés, il apparaît qu'un taux d'émissions fugitives de 3,7 % rend le gaz de schiste équivalent au diesel (en excluant les incertitudes).
- **Le chauffage à l'électricité est préférable à l'utilisation du gaz de schiste** selon les catégories *Changement climatique* et *Ressources*, alors qu'il n'est pas possible de trancher pour les indicateurs *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* (en considérant l'analyse de sensibilité impliquant d'autres méthodes d'évaluation des impacts).

Déplacement d'un autobus sur 1 km

Le gaz de schiste est généralement équivalent au du gaz naturel conventionnel, sauf pour l'indicateur *Changement climatique* où les conclusions sont variables selon l'horizon de temps et le taux de fuite considérés. Considérant les facteurs de réchauffement global sur 100 ans, **le gaz de schiste est défavorisé par rapport au gaz naturel de l'Alberta dès que les émissions fugitives en cour de production dépassent 2 %**, et ce, peu importe la productivité des puits.

- **Le gaz de schiste tend à être favorisé par rapport au diesel.** Selon les indicateurs *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes*, le diesel est défavorisé ; selon *Ressources*, les deux combustibles sont équivalents ; et pour *Changement climatique*, les conclusions sont variables selon le taux d'émissions fugitives du gaz de schiste et l'horizon de temps considéré.

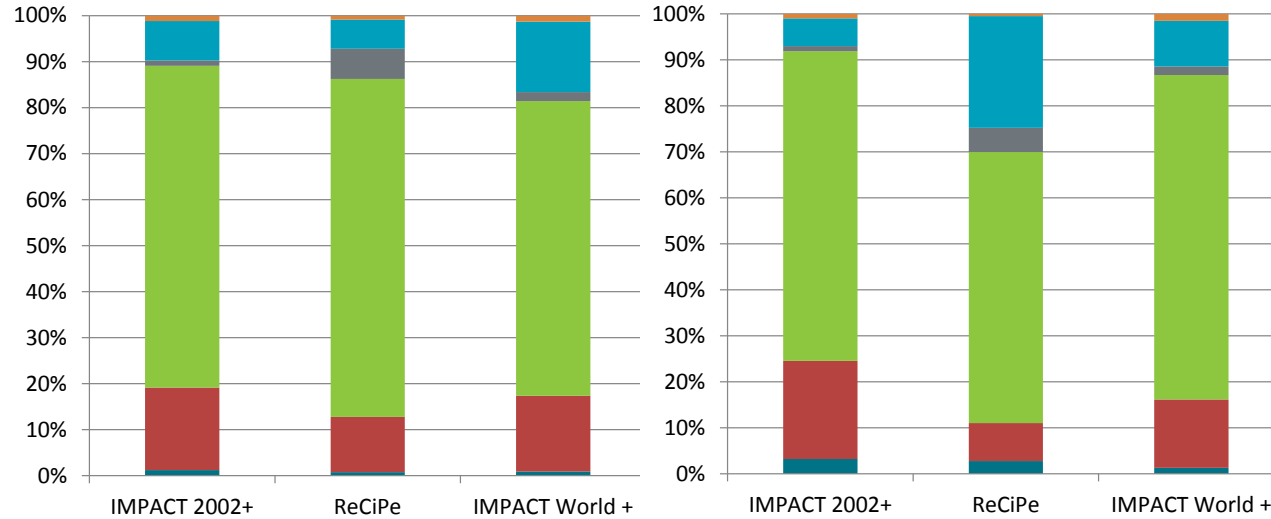
Contribution de l'amont et de l'utilisation



Profil environnemental: évaluation avec différentes méthodes

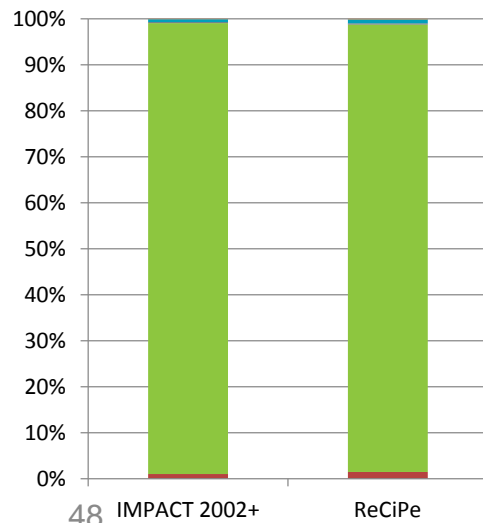
Santé humaine

Qualité des écosystèmes



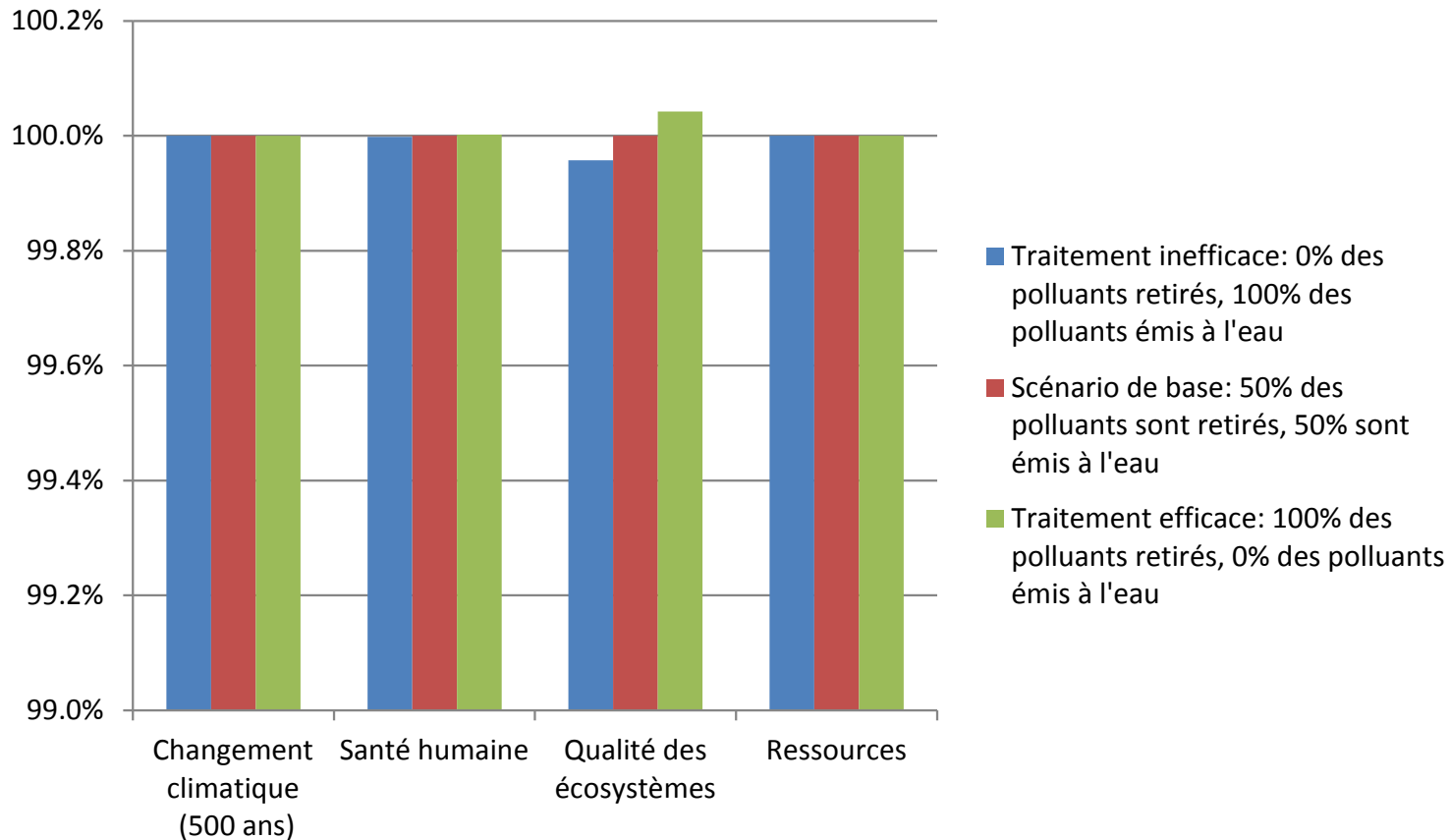
✓ Phase projet pilote/développement demeure le principal contributeur

Ressources

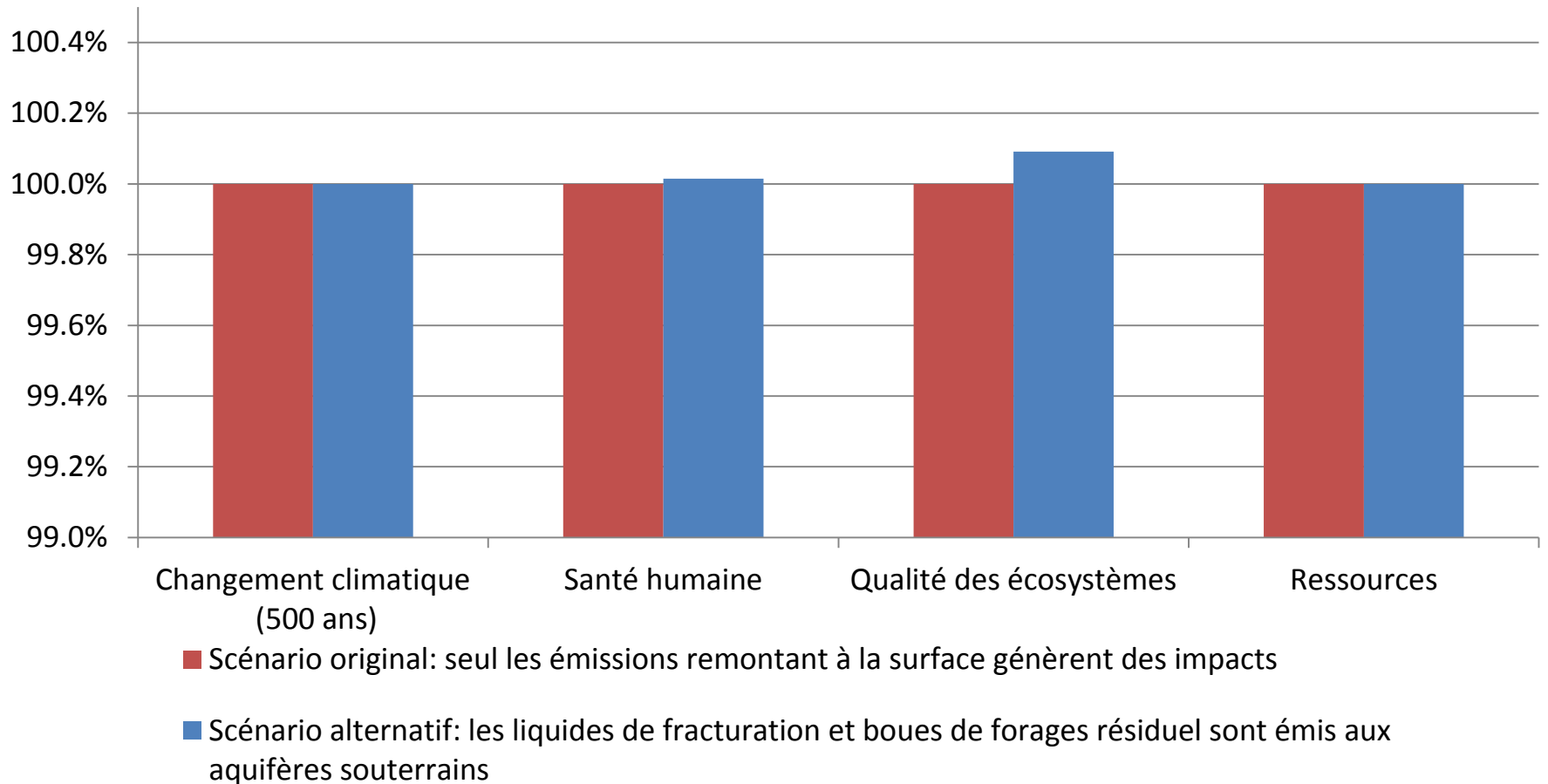


✓ Les phases gardent une contribution similaire pour toutes les méthodes

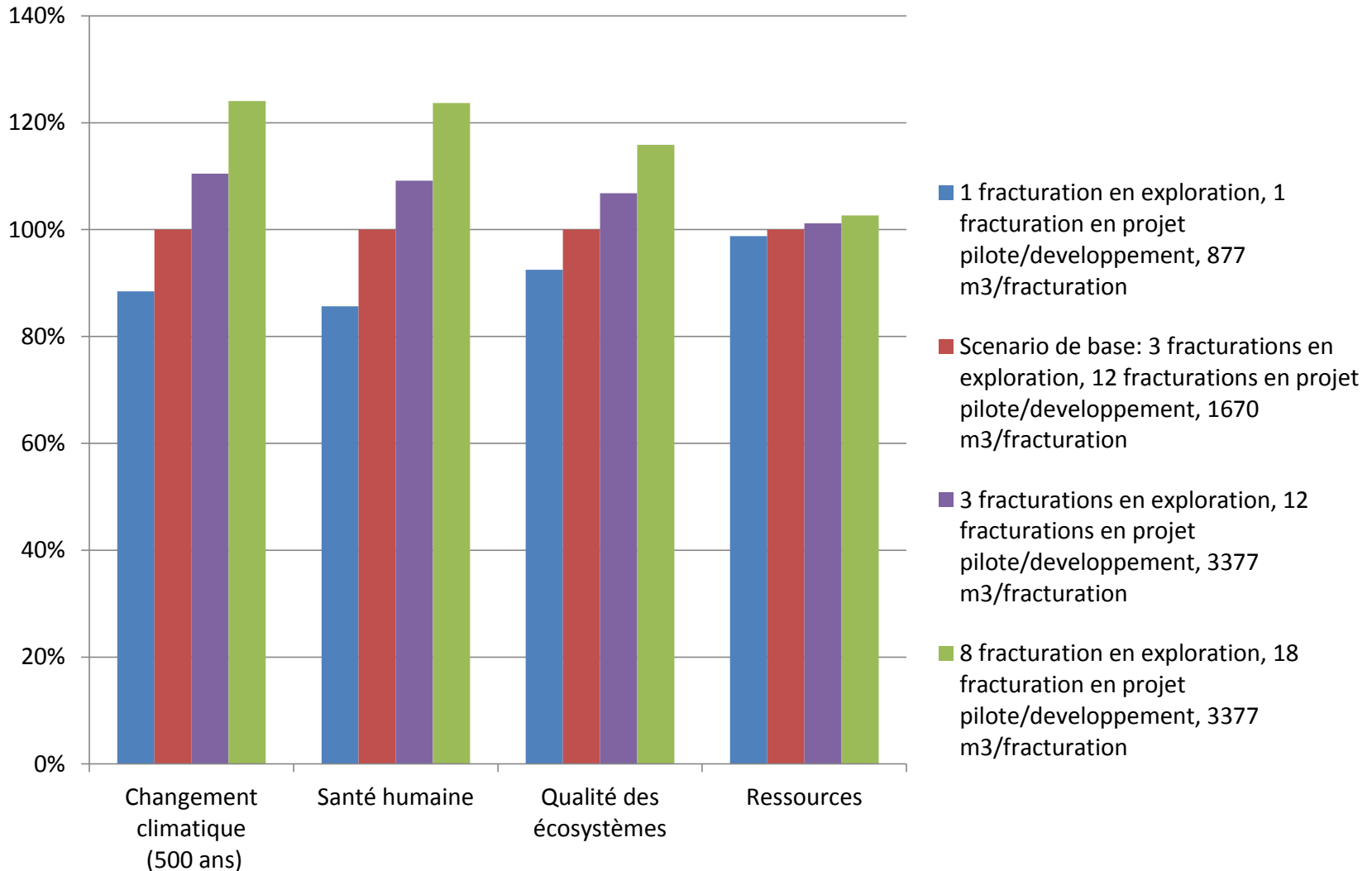
4. Traitement des eaux usées et des boues de forage



4. Traitement des eaux usées et des boues de forage



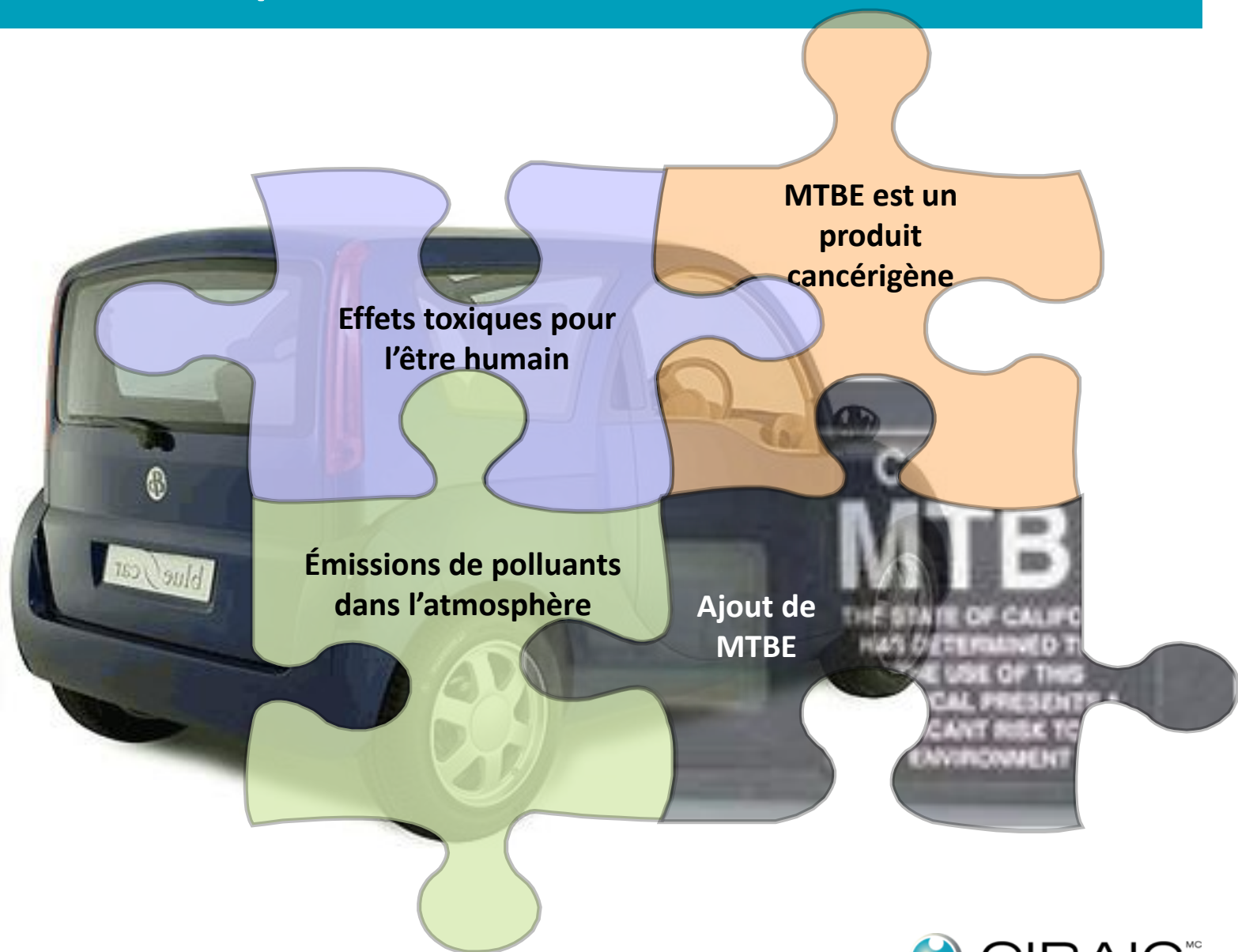
5. Nombre de fracturations et volume du liquide de fracturation



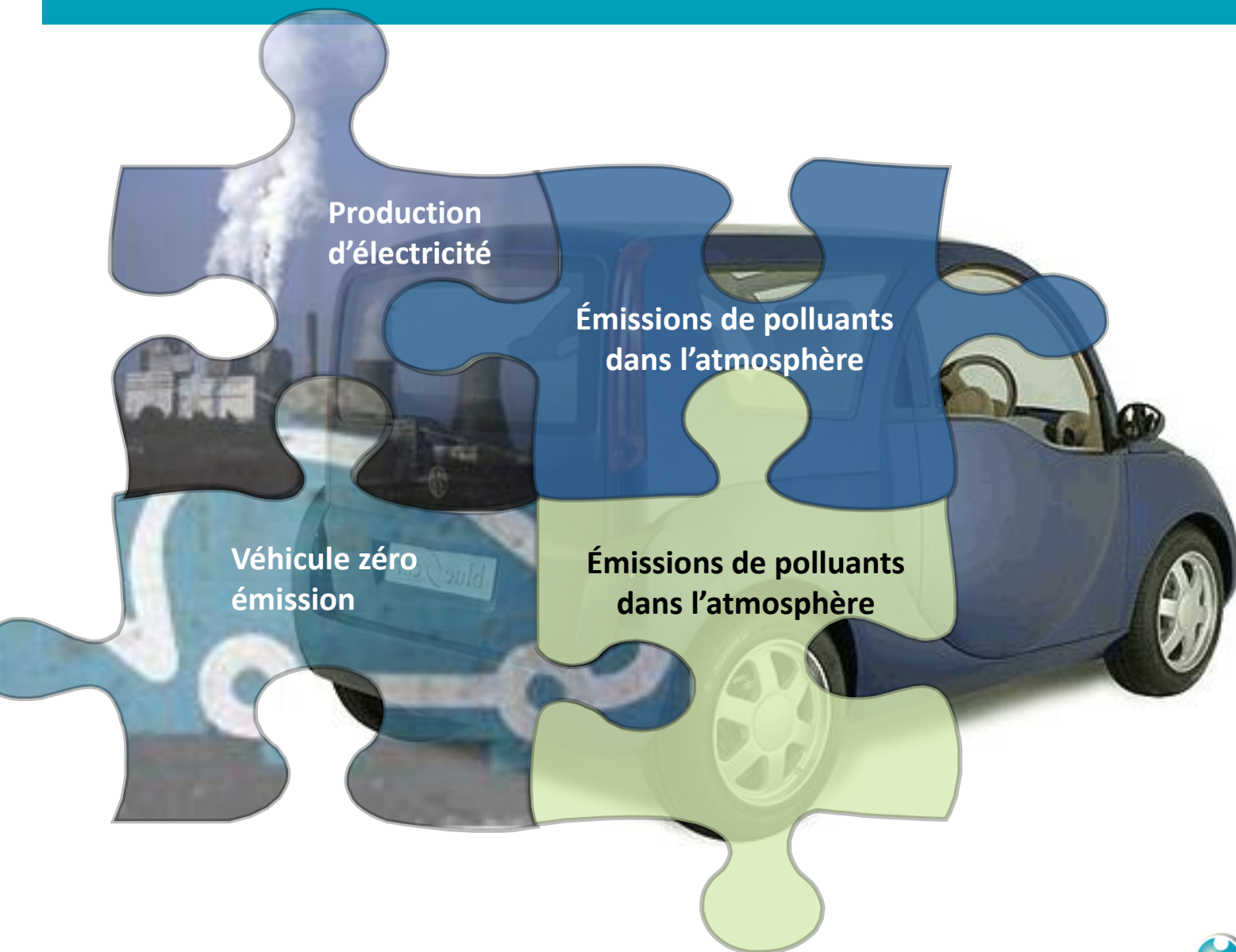




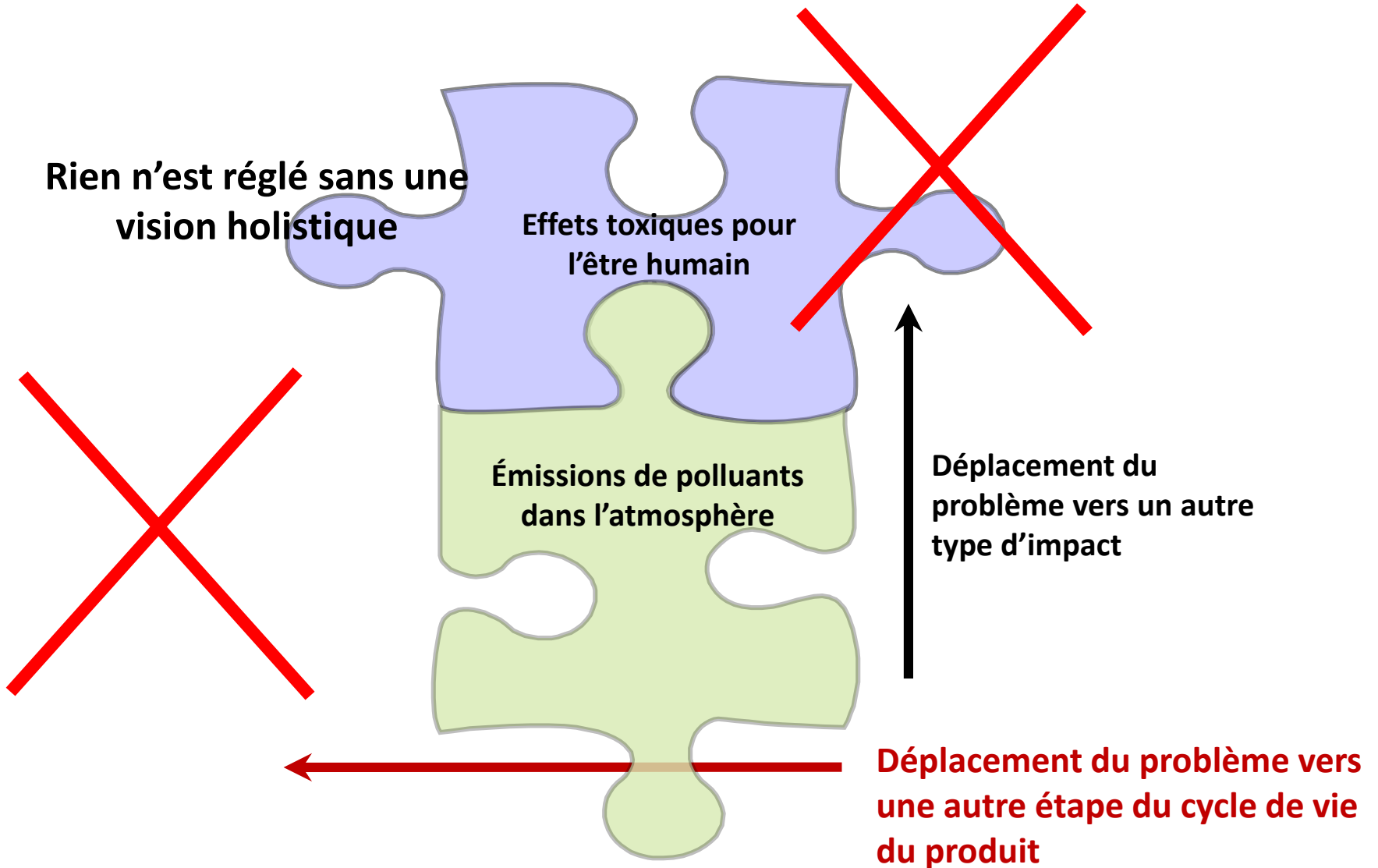
Vision cloisonnée du problème et de la solution



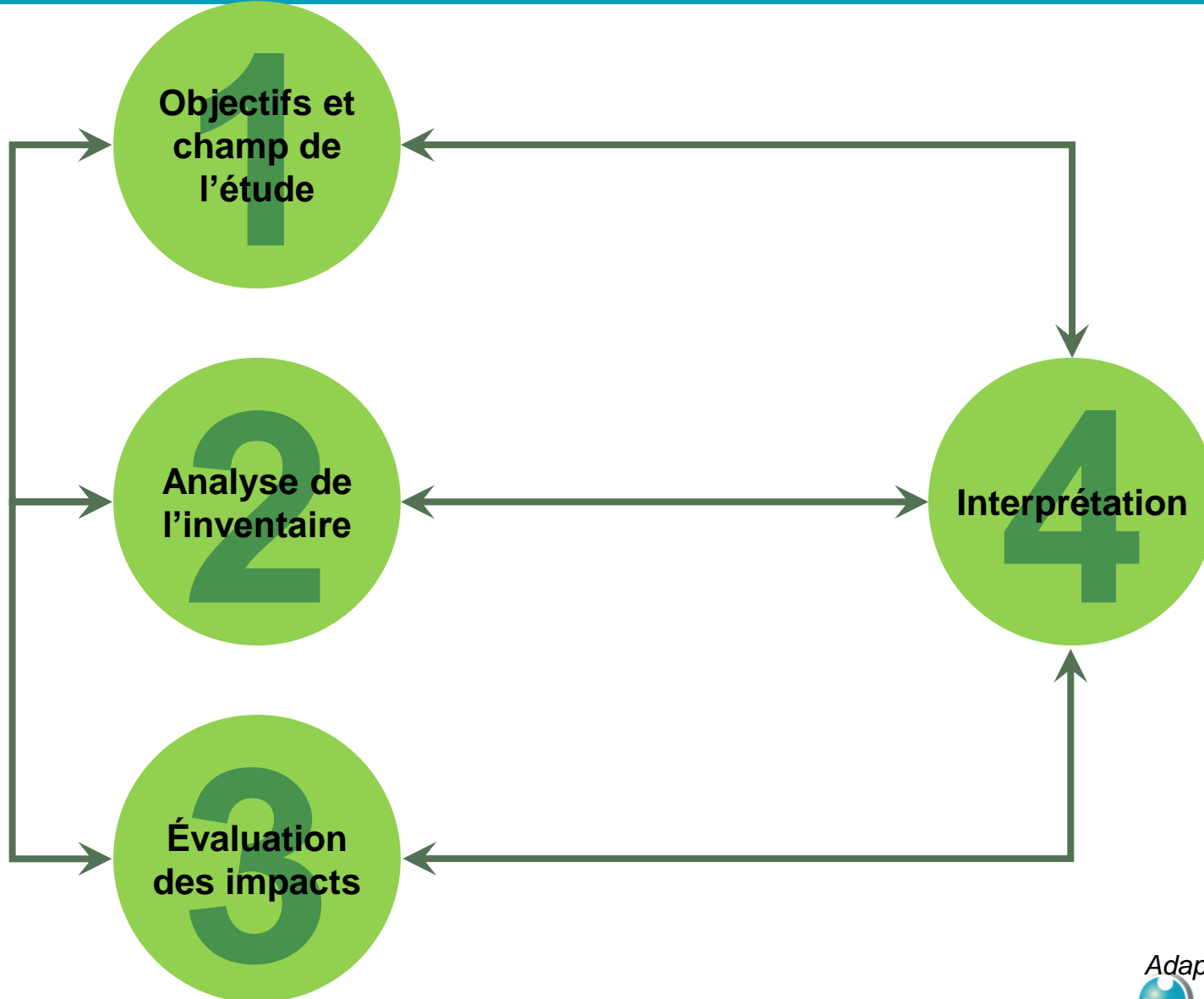
Vision cloisonnée du problème et de la solution



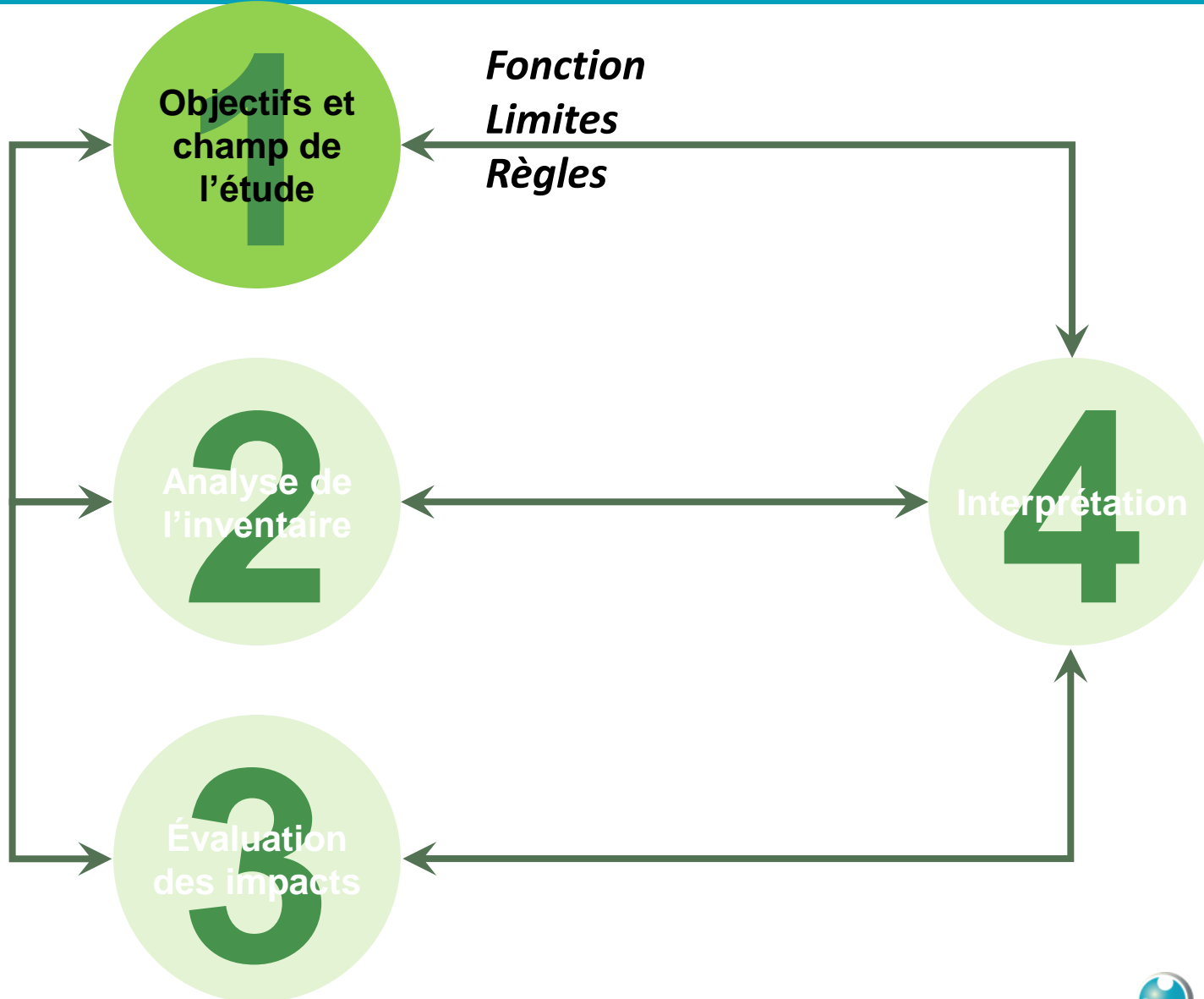
Vision cloisonnée du problème et de la solution



Les étapes de la méthodologie ACV



Les étapes de la méthodologie ACV



Objectifs et champ de l'étude: un exemple

1
Objectifs et
champ de

Fonction

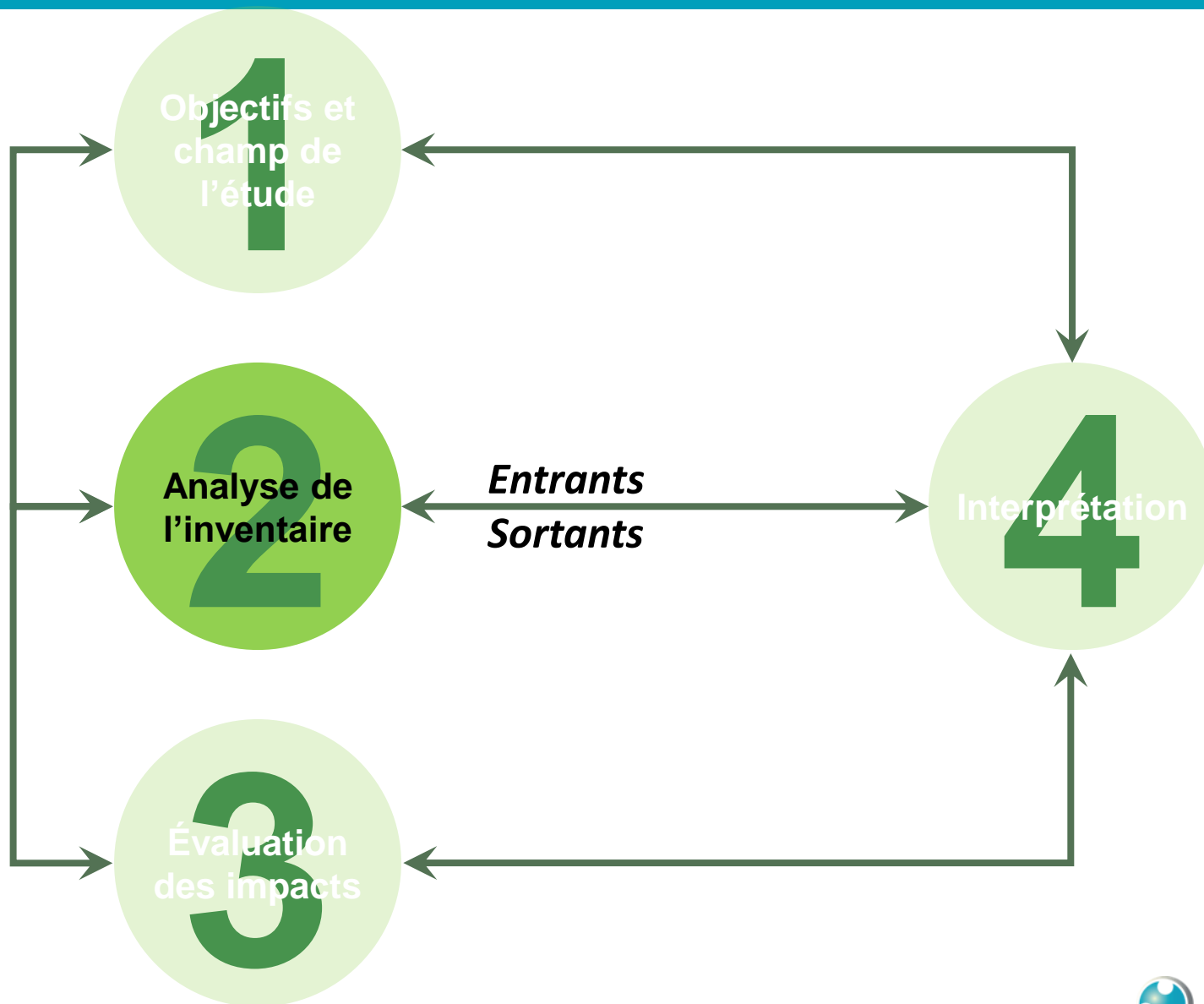
- Se déplacer

Unité fonctionnelle

- Déplacer 1 personne sur 50 000 km pendant 5 ans

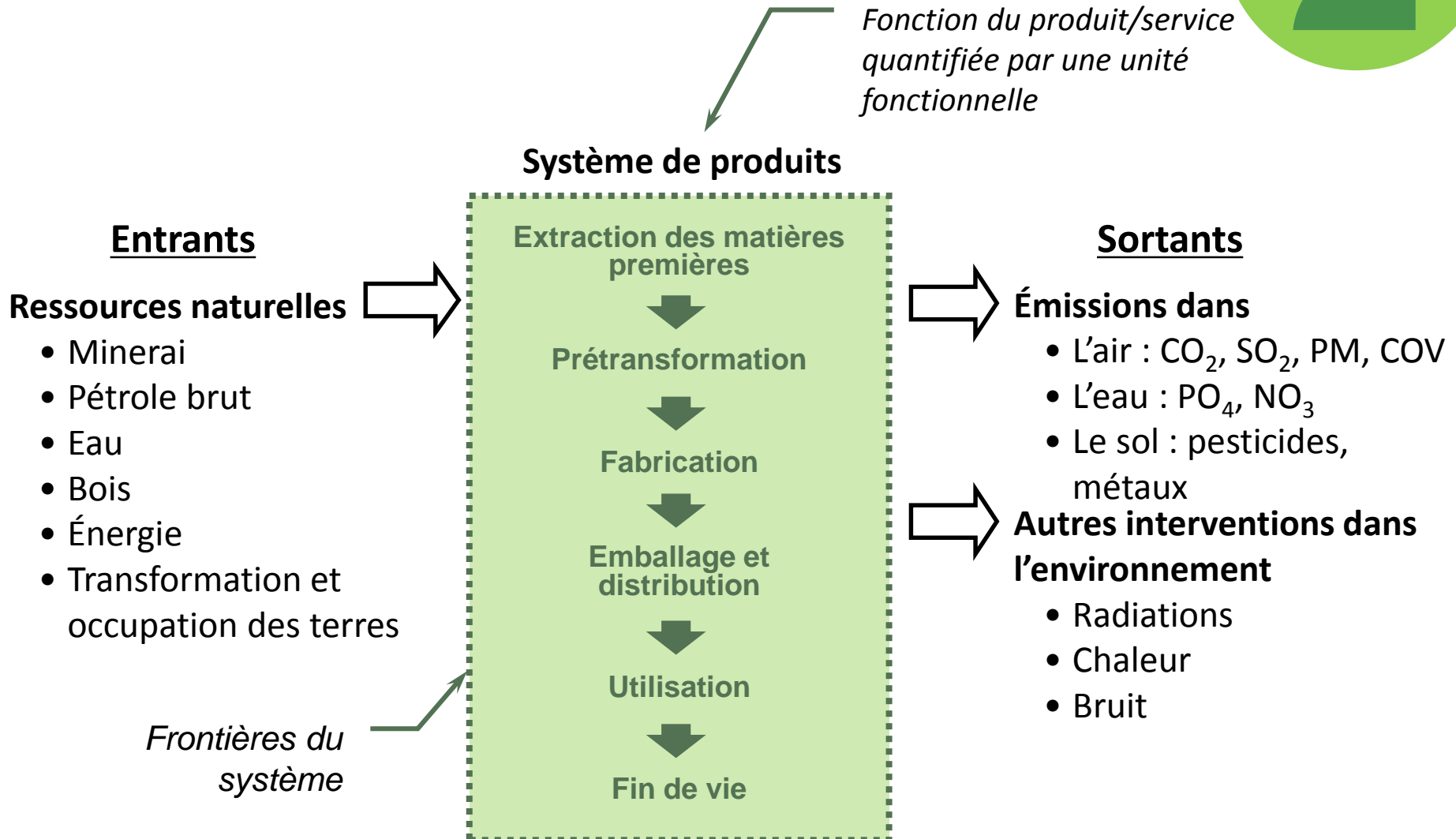


Les étapes de la méthodologie ACV

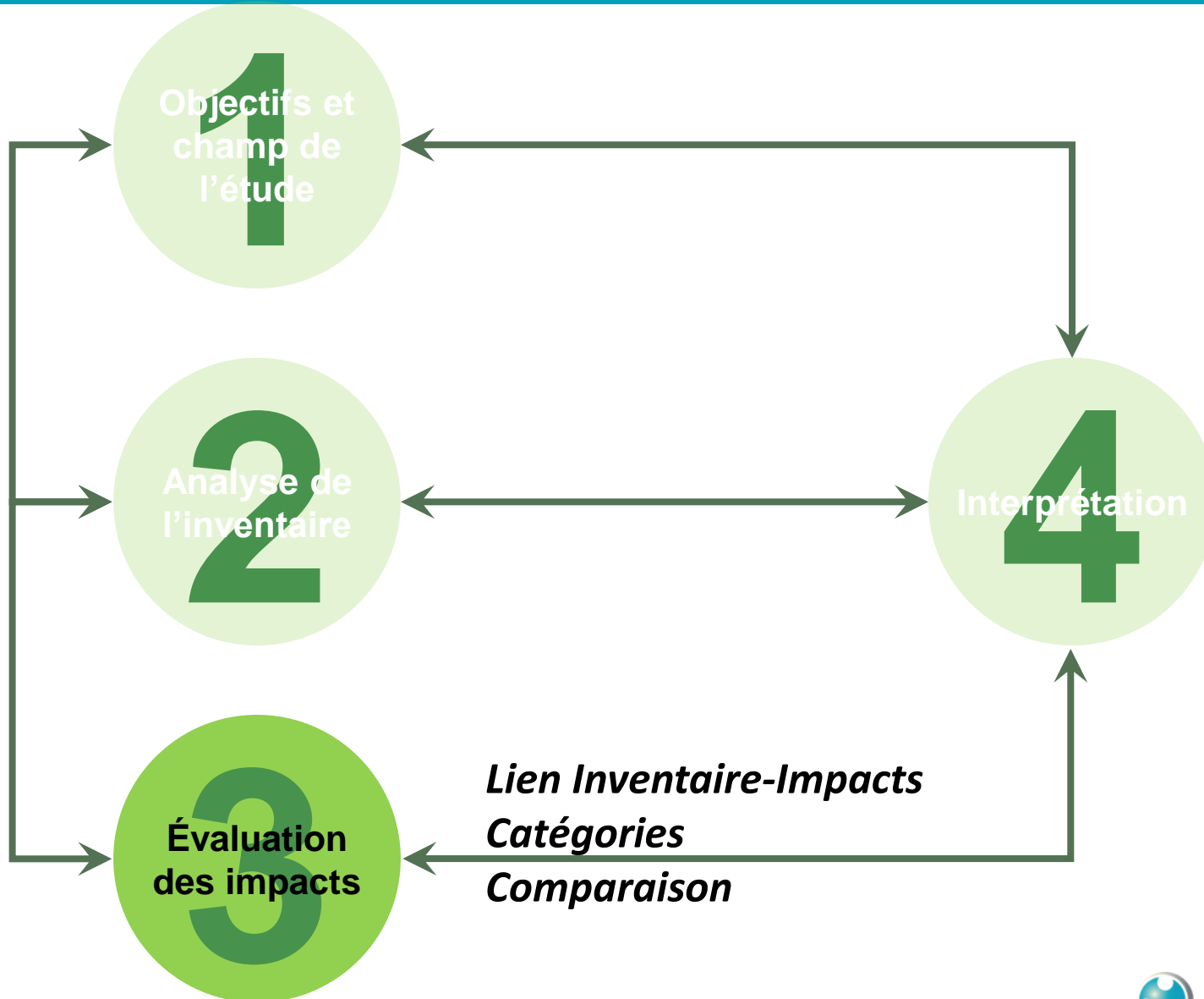


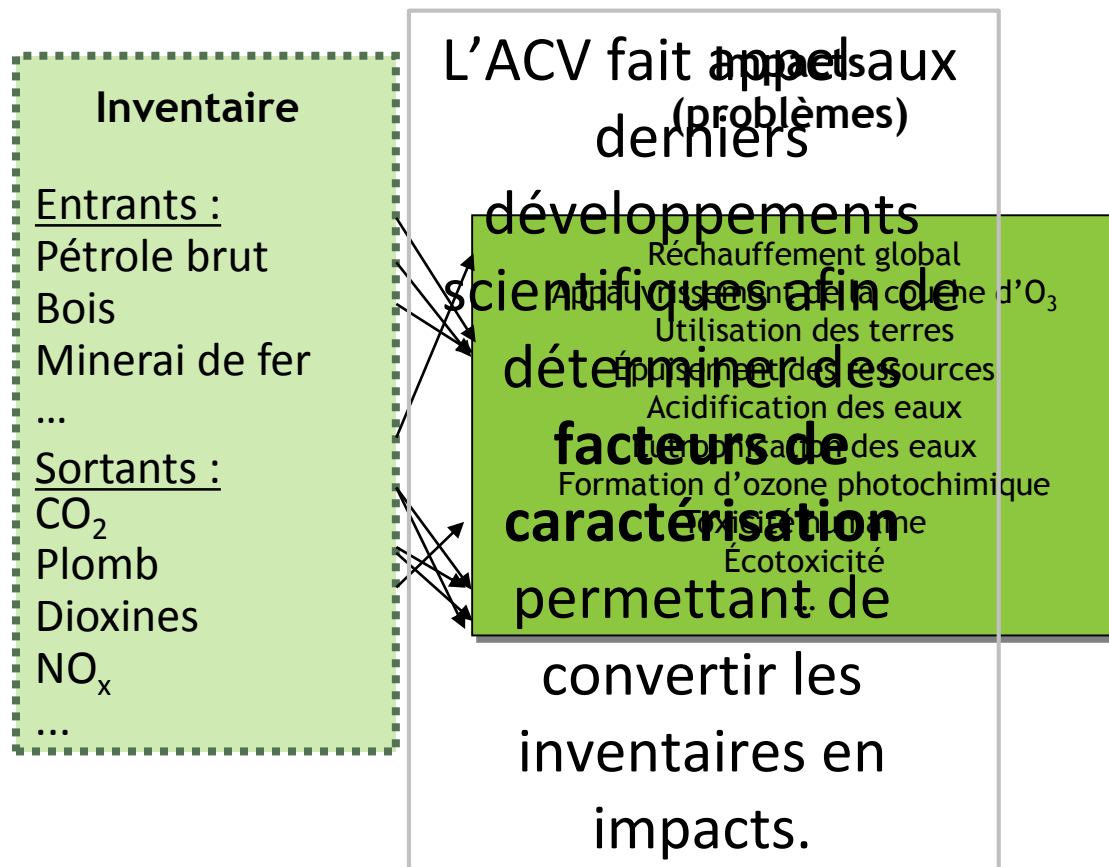
Entrants et sortants d'un système

2
Analyse de l'inventaire



Les étapes de la méthodologie ACV

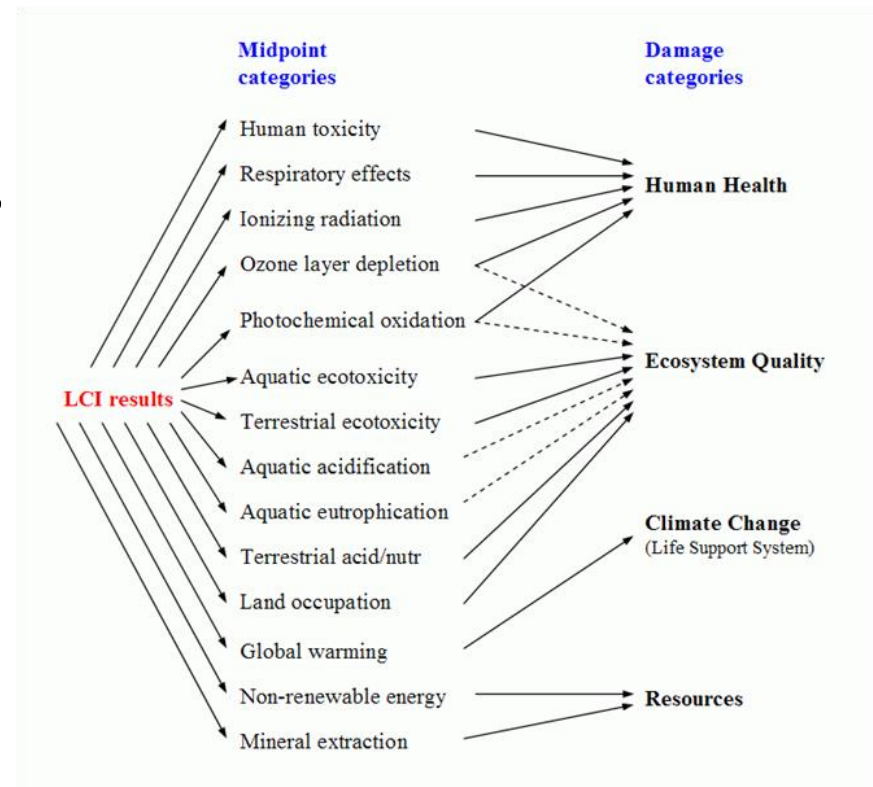




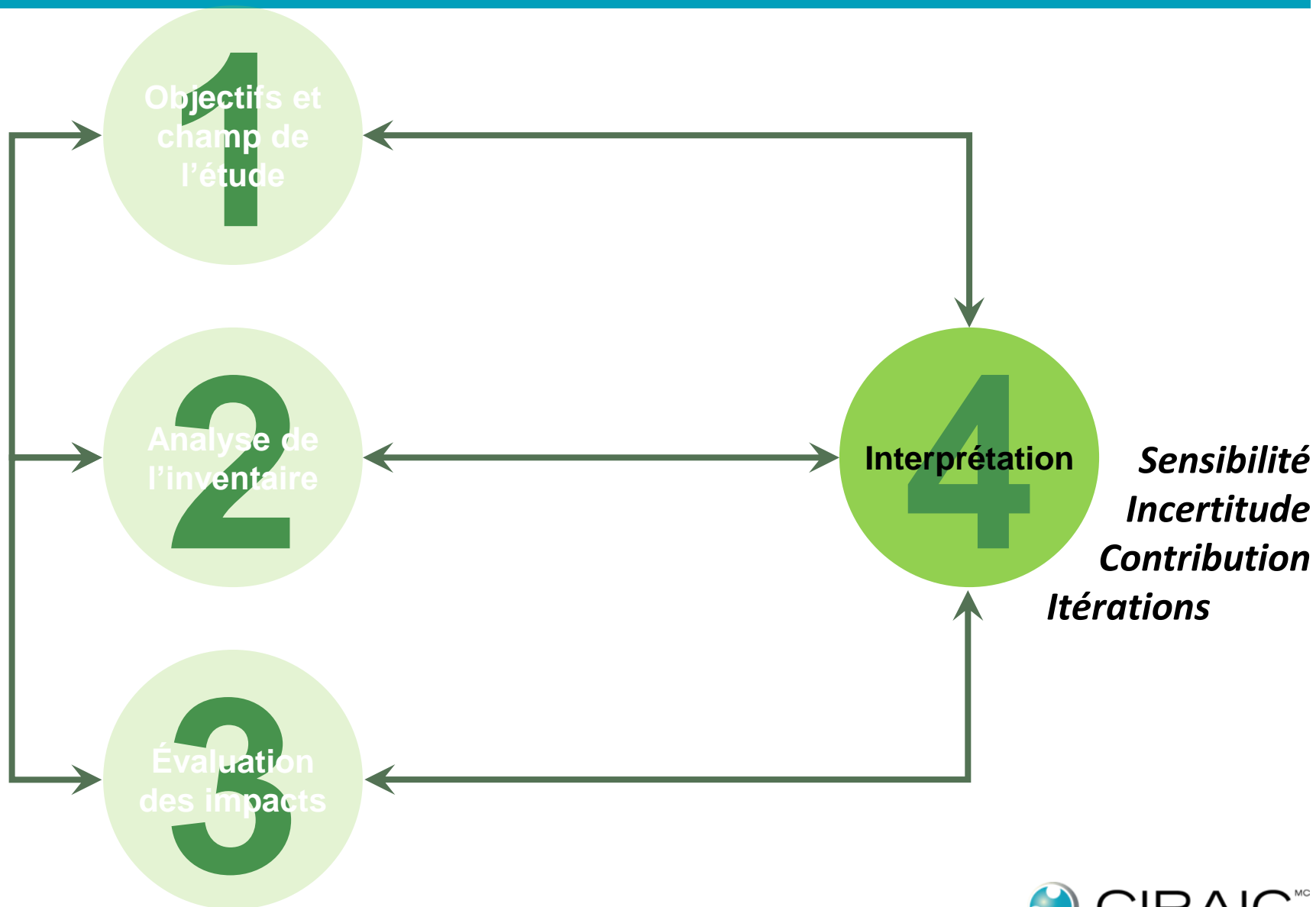
- Basé sur des modèles d'analyse de risque

MAIS CE N'EST PAS UNE ANALYSE DE RISQUE

- Évaluation d'une situation moyenne => pas le pire cas
- Impacts potentiels => pas des impacts réels



Les étapes de la méthodologie ACV



Contradiction?

Source	Émissions fugitives [% de la production]	Production totale d'un puits [m ³]	Émissions fugitives d'un puits [m ³]
Howarth et coll. (2011)	3,6 à 7,9 %	3,51x10 ⁷	1,27x10 ⁶ -2,77x10 ⁶
Skone (2011)	2,3 %	8,49x10 ⁷	1,95x10 ⁶
Hugues (2011)	3,31 à 8,8 %	2,38x10 ⁷ -8,49x10 ⁷	2,09x10 ⁶ à 2,80x10 ⁶
Jianget coll. (2011)	2 %	7,75x10 ⁷	1,56x10 ⁶
Burnham et coll. (2012)	2,01 % (0,71 à 5,23 %)	4,50x10 ⁷	9,06x10 ⁵ (3,11x10 ⁵ -2,35x10 ⁶)
Howarth et coll. (2012)	3,3 à 7,6 %	3,51 10 ⁷	1,16x10 ⁶ à 2,66x10 ⁶

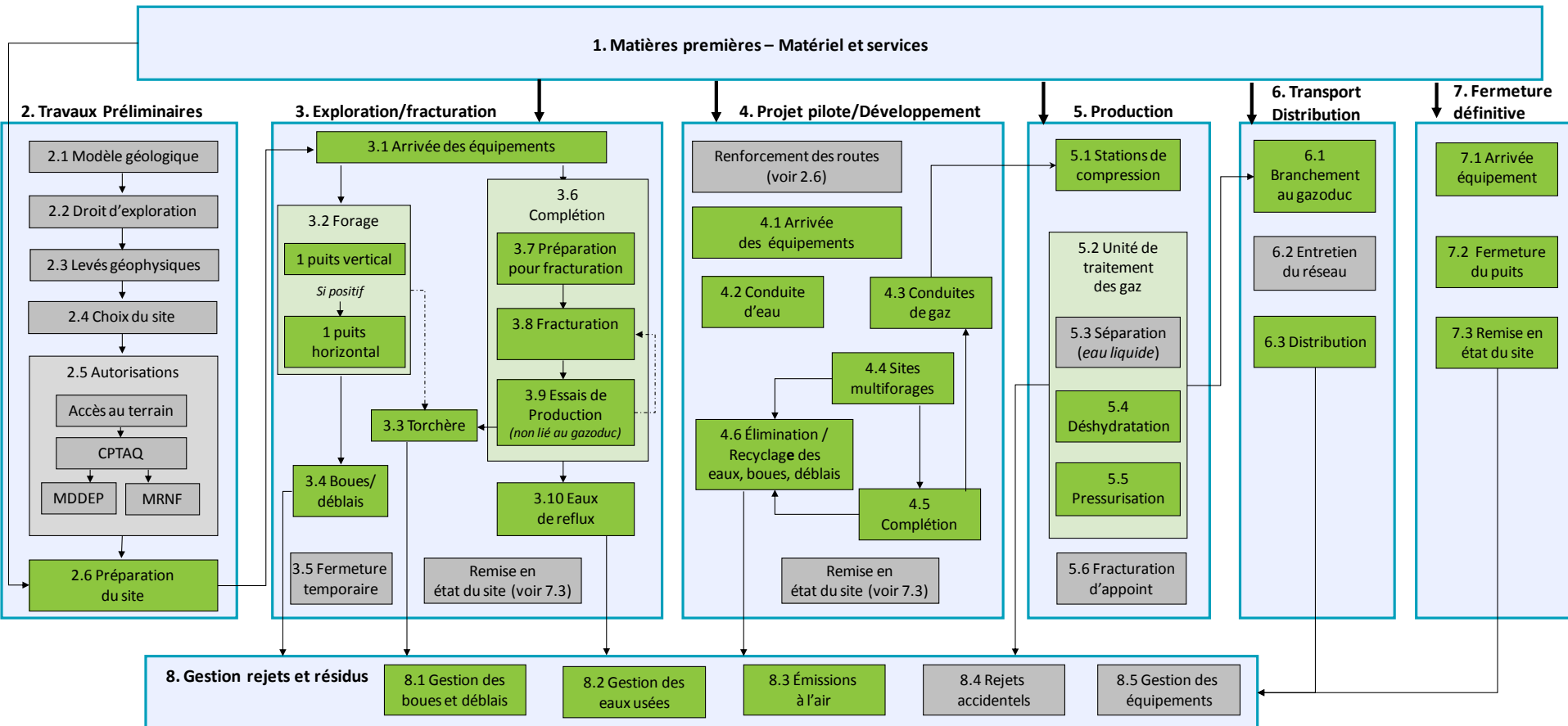


**Variabilité
intrinsèque
existante**

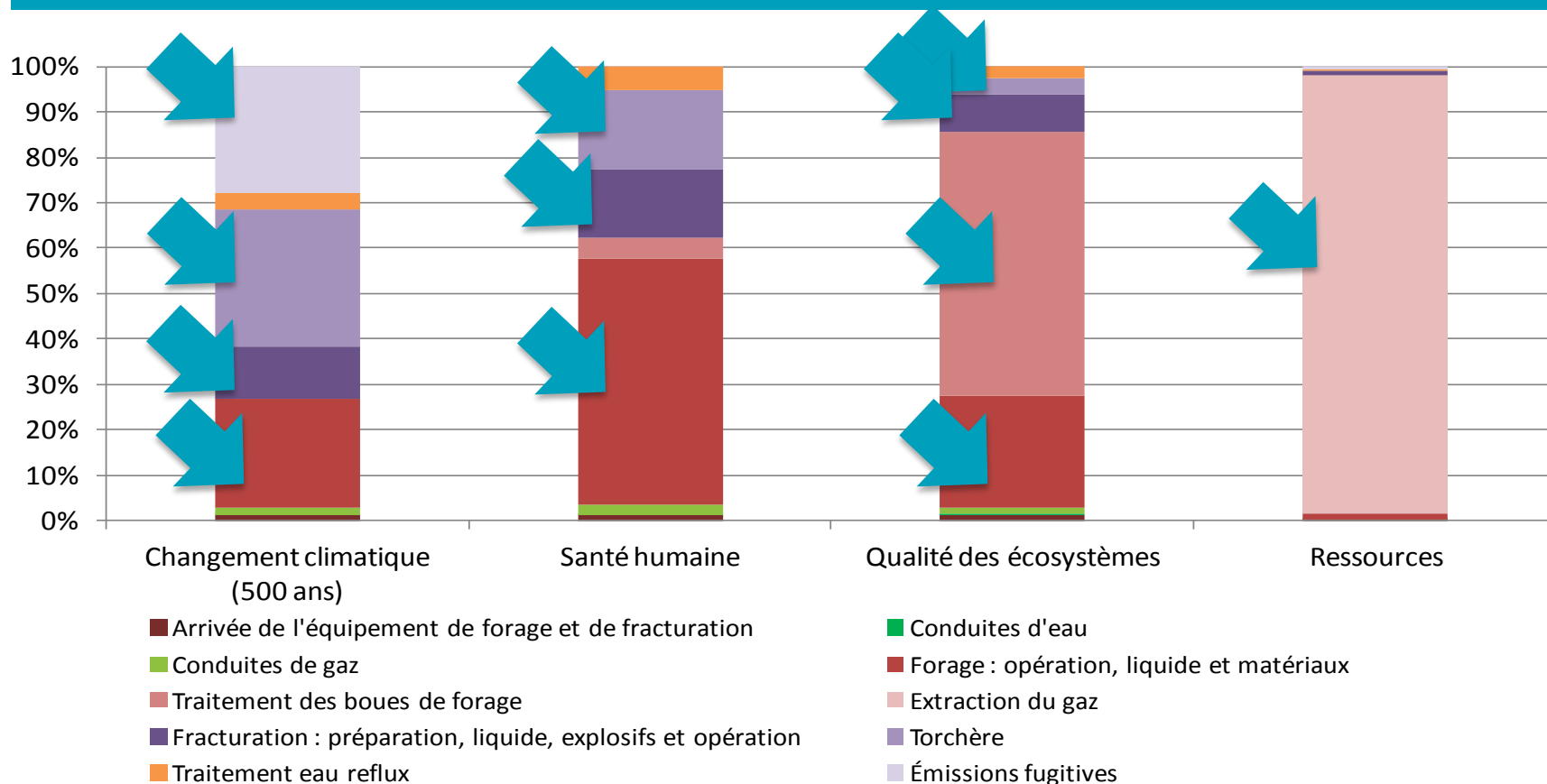
2,38 × 10⁷
à
8,49 × 10⁷
m³/puits

9,06 × 10⁵
à
2,80 × 10⁶
m³/puits

Frontières du système: activités incluses dans le profil environnemental



Contribution à la phase de projet pilote/développement



Émissions fugitives

Forage: opérations, liquide et matériaux

Torchère

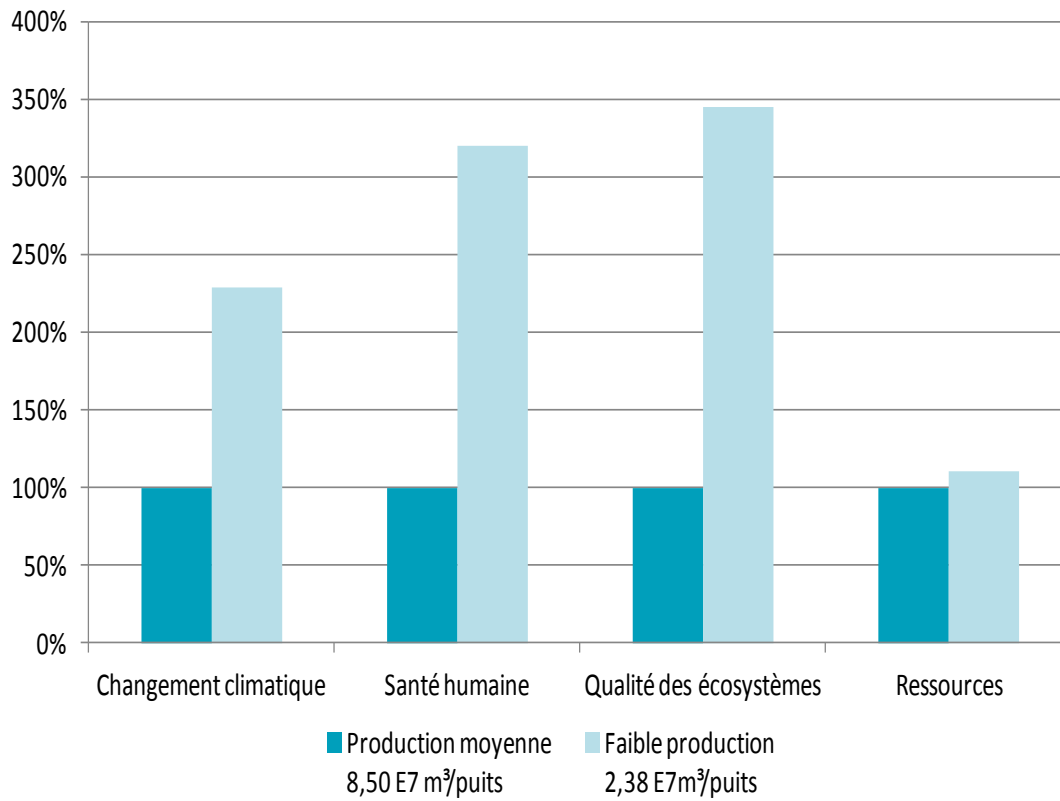
Fracturation: préparation, liquide, explosifs et opération

Traitement des boues de forage

Extraction du gaz

Effet de la productivité des puits

En considérant la plus faible productivité répertoriée (baisse de 72% par rapport au cas de base) :



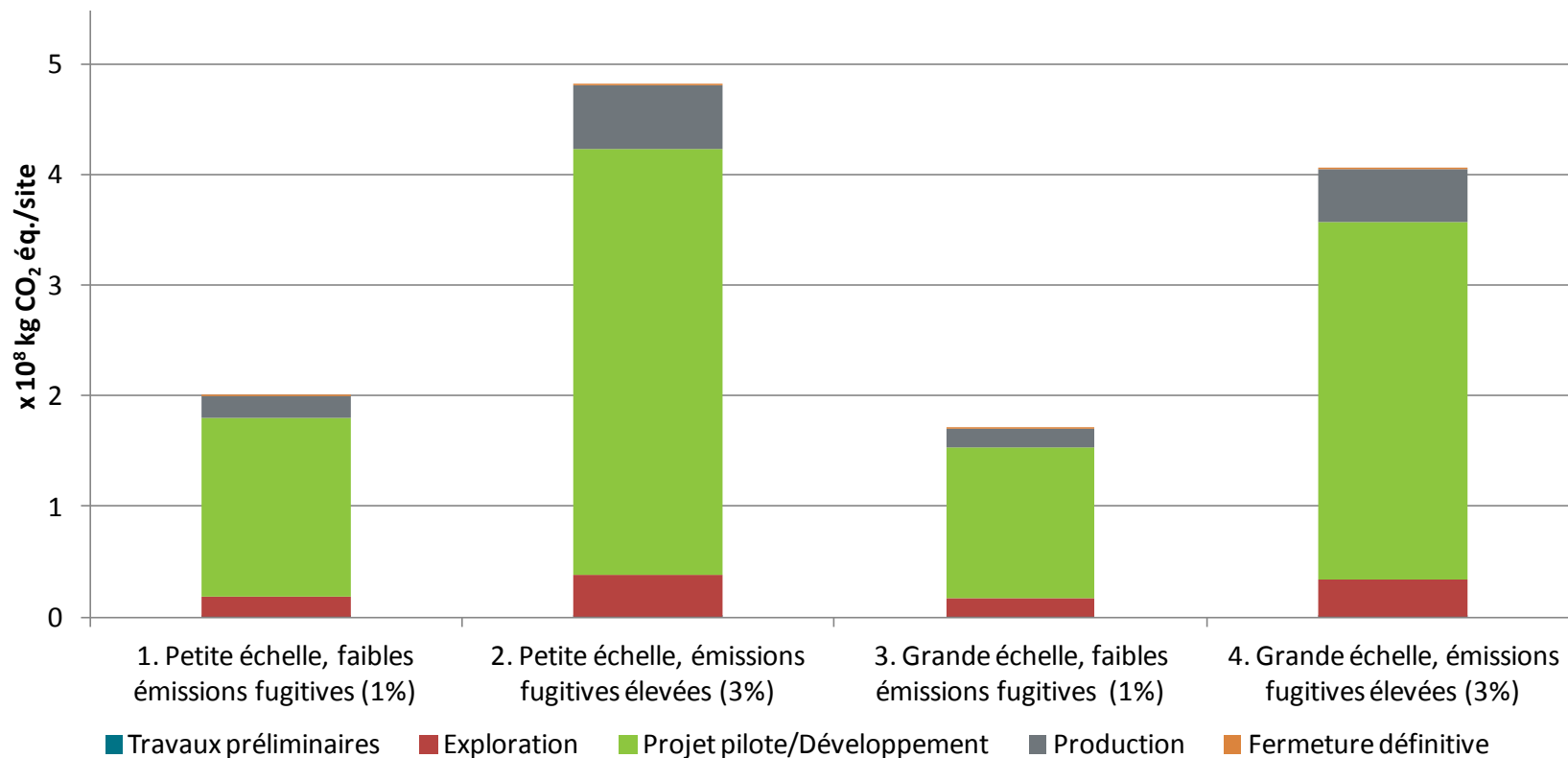
✓ **Augmentation de:**

130% pour Changement climatique

220% pour Santé humaine

145% pour Qualité des écosystèmes

Bilan GES - Émissions sur site: production de gaz pour un site



- ✓ Favorise les alternatives 1 et 3: faibles émissions fugitives
- ✓ Favorise les alternatives à plus faible production, les émissions fugitives étant calculées en fonction de la production
- ✓ Contribution: Projet pilote/développement (80%), exploration (10%) et production (10%)

CLIQUEZ POUR MODIFIER LE STYLE DU TITRE

Limites de l'étude

Les limites de l'ACV



Incapacité de l'ACV à évaluer:

- L'augmentation des risques sismiques
- Les conséquences d'une ingestion de méthane sur la santé humaine suite à une contamination des aquifères souterrains
- Les inconvénients causés par le bruit
- Les effets aux biens humains (p.ex., augmentation ou perte de valeurs financière)
- Les incertitudes et limites des modèles environnementaux

L'étude ne considère pas:

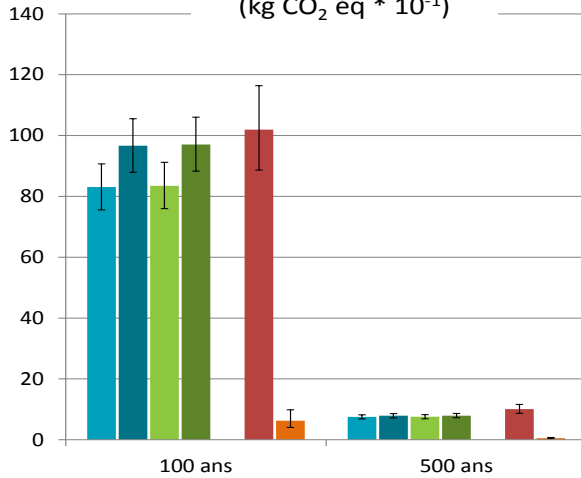
- Les conséquences liées à un changement de pratique (p. ex. construction de station pompe au gaz naturel plutôt qu'au diesel pour l'utilisation des autobus)
- Les émissions potentielles après la fermeture d'un puits



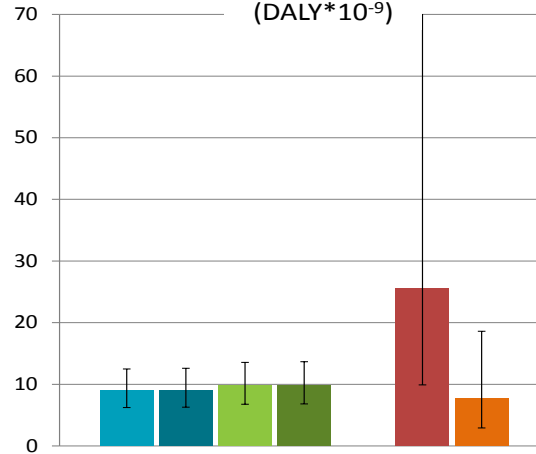
- ✓ Diminution de la production d'un puits (profil environnemental) : 130 à 220 % (excluant les ressources)
- ✓ Efficacité du traitement des eaux usées : $< \pm 1 \%$
- ✓ Boues et liquides de fracturation résiduels (émissions à l'eau) : $< \pm 1 \%$
- ✓ Nombre de fracturations et du volume de fracturation : 80 à 122 %

Production de 1 MJ de chaleur

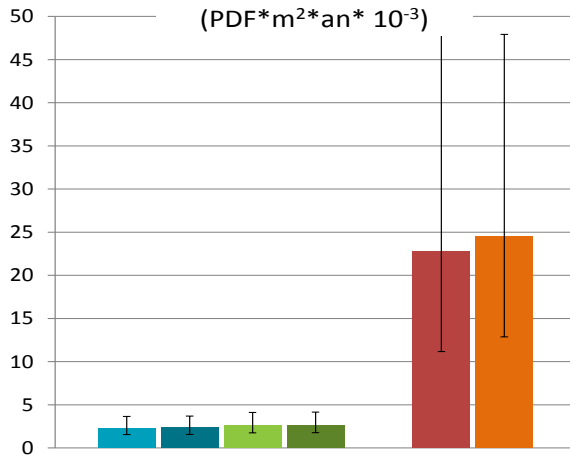
Changement climatique
(kg CO₂ éq * 10⁻¹)



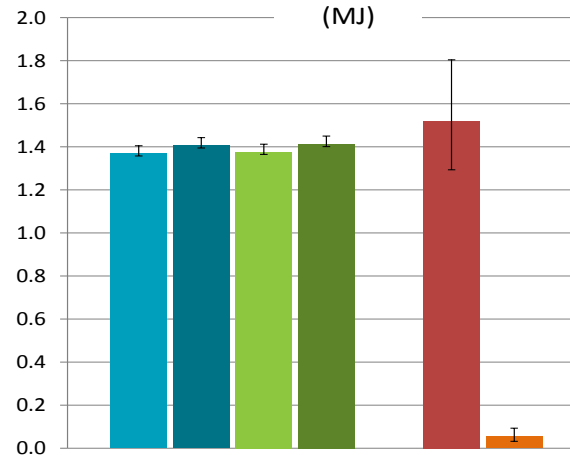
Santé humaine
(DALY*10⁻⁹)



Qualité des écosystèmes
(PDF*m²*an* 10⁻³)



Ressources
(MJ)

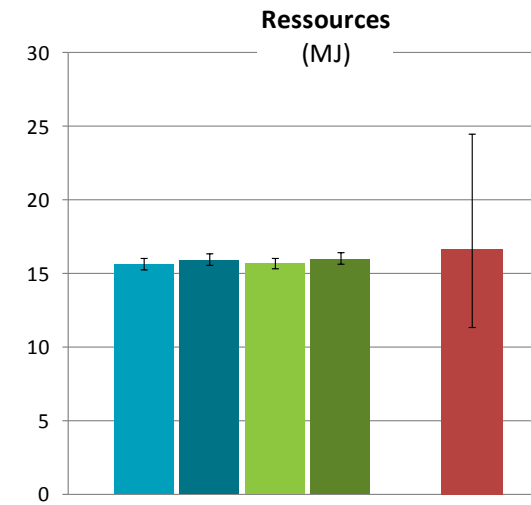
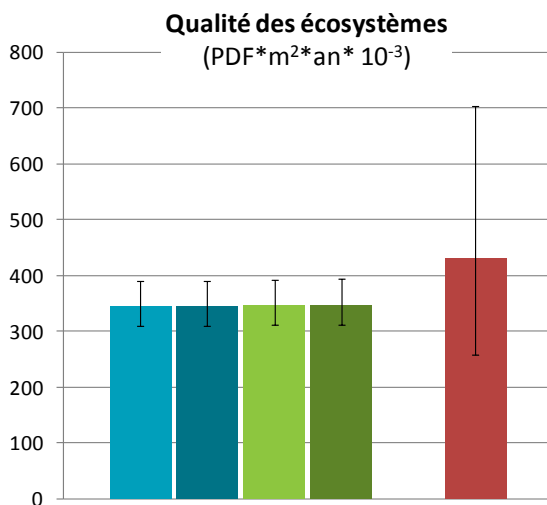
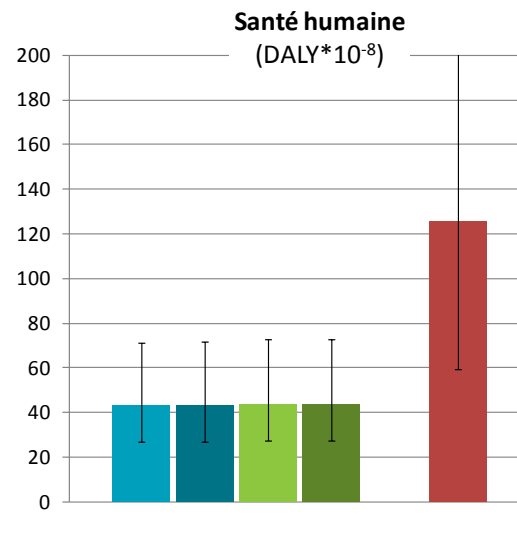
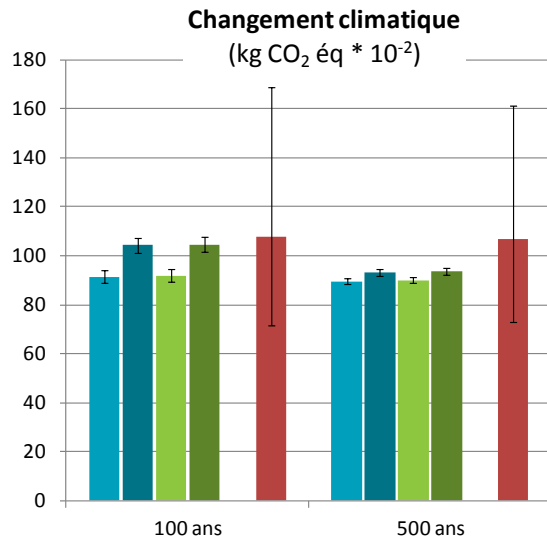


■ 1. Petite échelle, faibles émissions (1%)
■ 4. Grande échelle, émissions élevées (3%)

■ 2. Petite échelle, émissions élevées (3%)
■ Mazout

■ 3. Grande échelle, faibles émissions (1%)
■ Electricité

Analyse comparative: Déplacement d'un autobus



✓ **Diesel:**
 Défavorisé par les indicateurs
Santé humaine et *Qualité des écosystèmes* ;
Changement climatique: non différenciables avec les incertitudes.

■ 1. Petite échelle, faibles émissions (1%)
 ■ 2. Petite échelle, émissions élevées (3%)
 ■ 3. Grande échelle, faibles émissions (1%)
 ■ 4. Grande échelle, émissions élevées (3%)
 ■ diesel

Scénarios évalués: basés sur les scénarios économiques

Option	Type de scénario	Nombre de sites*	Production totale de gaz par puits (sur 25 ans)	Émissions fugitives
1	à petite échelle	166	$8,50 \times 10^7$ m ³ (3 bcf)	faibles (1% ou 0,03 bcf)
2	à petite échelle	166	$8,50 \times 10^7$ m ³ (3 bcf)	élevées (3% ou 0,09 bcf)
3	à grande échelle	1 500	$7,08 \times 10^7$ m ³ (2,5 bcf)	faibles (1% ou 0,025 bcf)
4	à grande échelle	1 500	$7,08 \times 10^7$ m ³ (2,5 bcf)	élevées (3% ou 0,075 bcf)