
Évaluation de l'impact environnemental de la production de bioéthanol à partir de canne à sucre, betterave ou froment par analyse du cycle de vie.

Comparaison des utilisations biocarburant et bioplastique.

LABORATOIRE DE GÉNIE CHIMIQUE

Procédés et développement durable

Sandra Belboom

LG C CHEMICAL
ENGINEERING



Plan de l'exposé

1. Introduction générale

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

3. Impact de la production de bioéthanol hydraté

4. Les utilisations du bioéthanol

5. Comparaison des utilisations du bioéthanol

6. Conclusions et perspectives

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

Plan de l'exposé

1. Introduction générale
- 2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie**
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
4. Les utilisations du bioéthanol
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
6. Conclusions et perspectives

Définition

Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

Évaluation des impacts environnementaux

Plan de l'exposé

1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
- 3. Impact de la production de bioéthanol hydraté**
4. Les utilisations du bioéthanol
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
6. Conclusions et perspectives

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

Principaux enseignements

Plan de l'exposé

1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
- 4. Les utilisations du bioéthanol**
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
6. Conclusions et perspectives

Plan de l'exposé

1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
4. Les utilisations du bioéthanol
- 5. Comparaison des utilisations du bioéthanol**
6. Conclusions et perspectives

Efficacité d'utilisation
des sols

Gain par hectare – Changement
climatique

Temps de retour

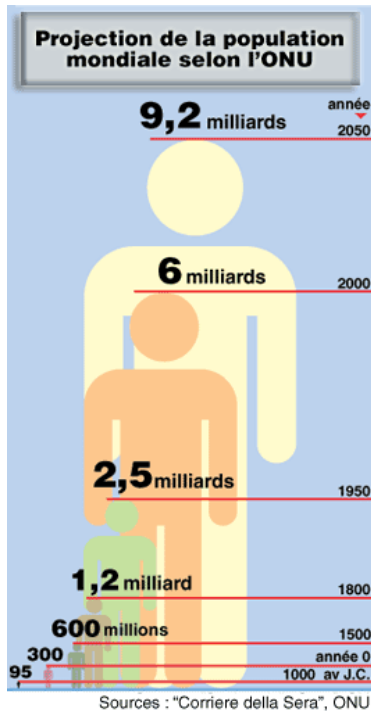
Plan de l'exposé

1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
4. Les utilisations du bioéthanol
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
- 6. Conclusions et perspectives**

1. Introduction générale

1.1. Le contexte énergétique mondial

Quels sont les prochains défis à relever?



Augmentation de la population



Changement climatique



Diminution des ressources naturelles

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

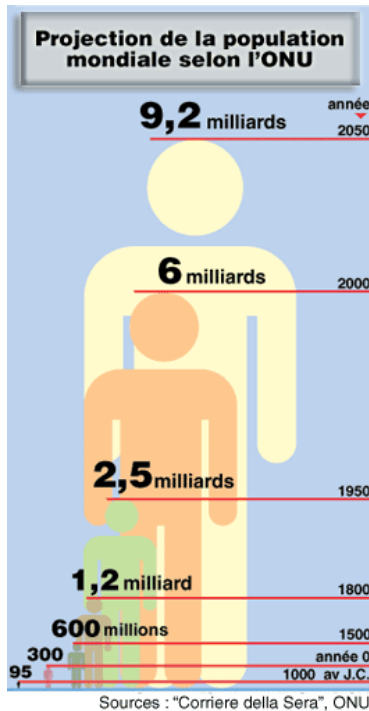
Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

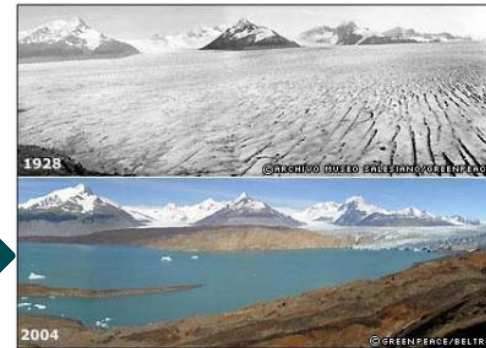
1. Introduction générale

1.1. Le contexte énergétique mondial

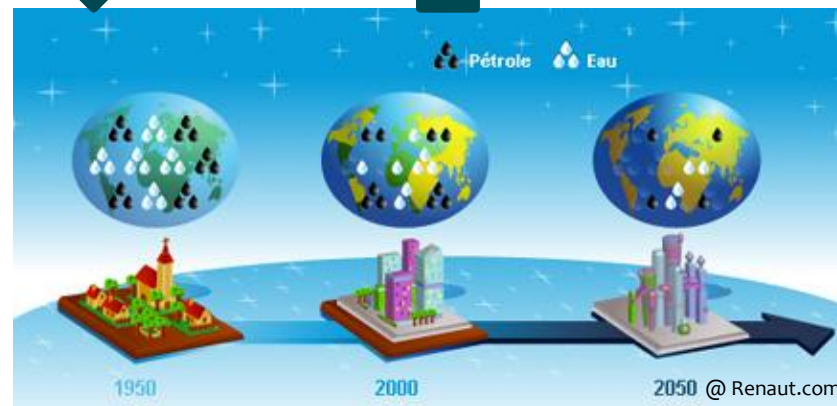
Quels sont les prochains défis à relever?



Augmentation de la population



Changement climatique



Diminution des ressources naturelles

Le contexte énergétique mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du bioéthanol

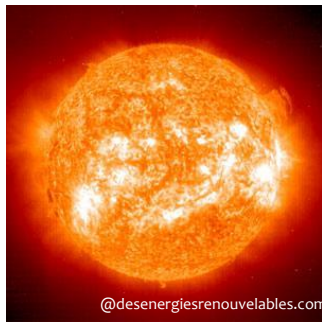
Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.1. Le contexte énergétique mondial

Quelles sont les solutions envisageables?

Pour la production d'électricité :



Pour le secteur du transport :



FILIÈRE SUCRE
= BIOÉTHANOL

FILIÈRE HUILE
= BIODIESEL

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

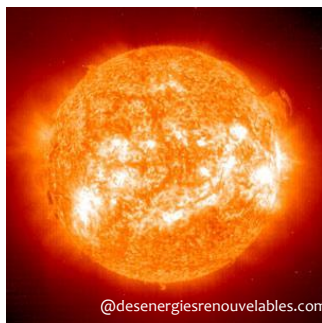
Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.1. Le contexte énergétique mondial

Quelles sont les solutions envisageables?

Pour la production d'électricité :



Pour le secteur du transport :



FILIÈRE SUCRE
= BIOÉTHANOL

FILIÈRE HUILE
= BIODIESEL

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

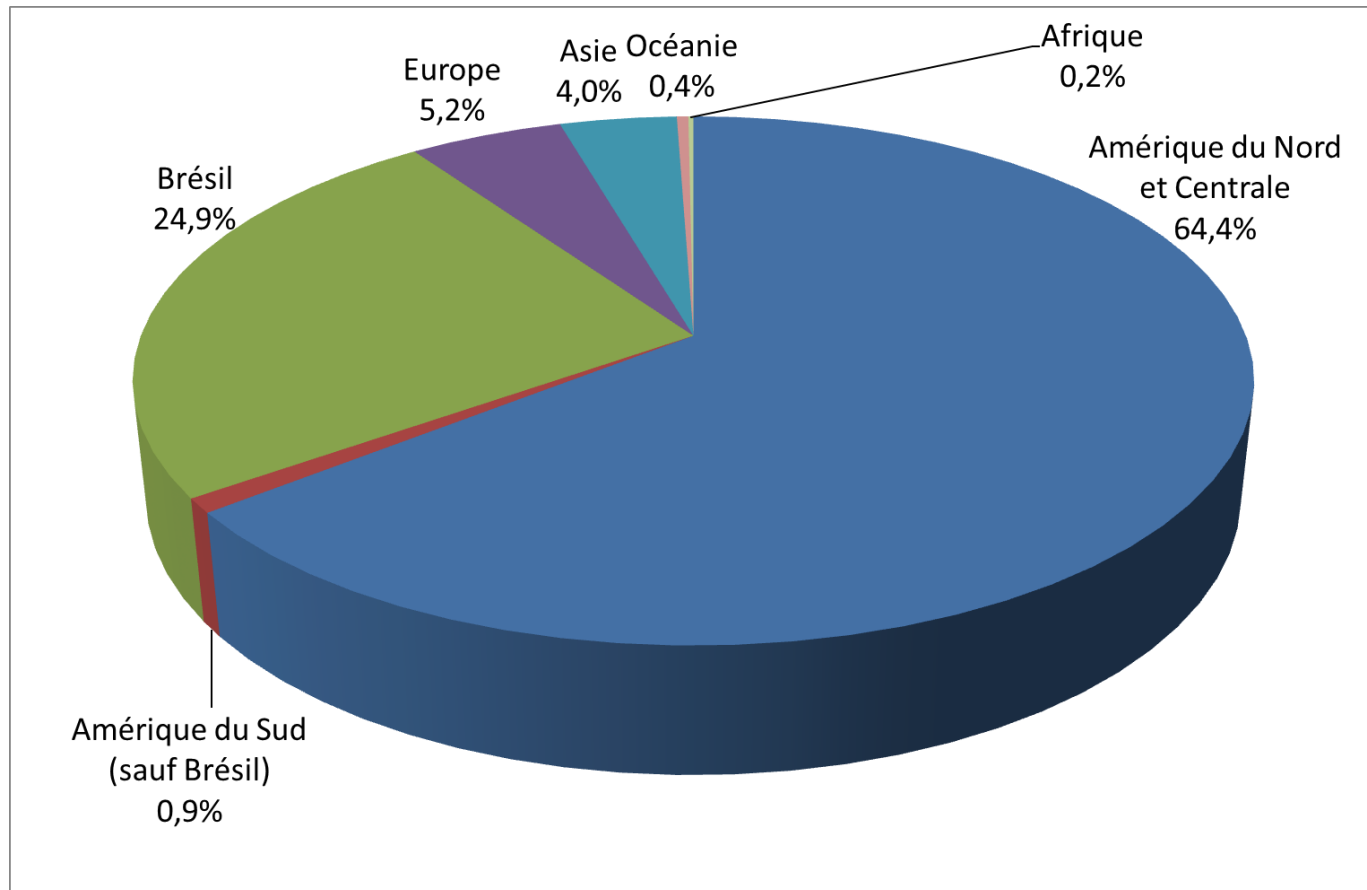
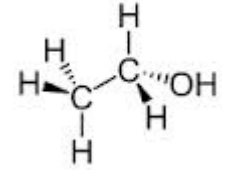
Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.2. Le bioéthanol

Quels sont les pays producteurs de bioéthanol?

Pour 2011:



Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.2. Le bioéthanol

Quelles sont les matières premières utilisées?

En Amérique :



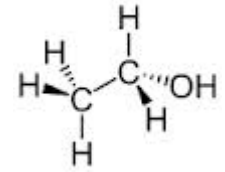
**Amérique du Nord et
Centrale**



Brésil



Canada



En Europe :



25%



23%



18%

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.2. Le bioéthanol

Quelles sont les matières premières utilisées?

En Amérique :



**Amérique du Nord et
Centrale**



**CANNE À
SUCRE**



Canada

En Europe :



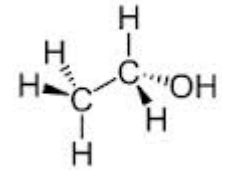
BETTERAVE



FROMENT



18%



Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

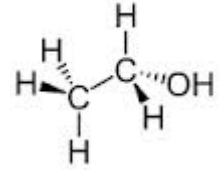
Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.2. Le bioéthanol

Sous quelle forme peut-il être utilisé?

- Éthanol hydraté
 - Solution de 96% d'éthanol et 4% d'eau en volume
 - Obtenu à la sortie de la distillation (azéotrope)
- Éthanol anhydre
 - Éthanol pur à 99,7% en volume
 - Obtenu après une étape supplémentaire de déshydratation
 - Passage de 96% à 99,7% d'éthanol



1. Introduction générale

1.3 Les utilisations du bioéthanol

Quelles sont les utilisations possibles du bioéthanol?

Application la plus courante :

- Biocarburants avec un taux dans l'essence entre 5 et 85%
 - À partir d'éthanol anhydre

MAIS

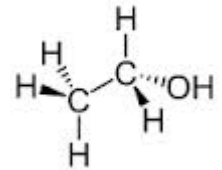
- Coût élevé par rapport à l'essence
- Compétition des sols
- Demande de grandes quantités d'eau

Autre possibilité :

- Matière première pour l'industrie chimique
- Production de bioplastique sur base éthylène
 - À partir de bioéthanol hydraté : $C_2H_5OH \rightleftharpoons C_2H_4 + H_2O$

MAIS

- Peu de recul



➔ COMMENT DÉPARTAGER CES UTILISATIONS?

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.3. Les utilisations du bioéthanol

Les questions à se poser :

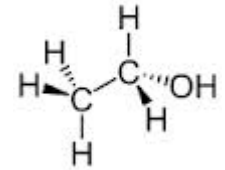
A. Remplacer des produits d'origine fossile par des équivalents produits à partir de bioéthanol réduit-il les émissions de gaz à effet de serre?



B. Quelle est l'influence de l'extension des cultures énergétiques?



C. Quelle est la meilleure utilisation du bioéthanol au point de vue environnemental?



➔ UTILISATION DE LA MÉTHODE D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.4. Les objectifs du travail

1. ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE LA PRODUCTION DE BIOÉTHANOL HYDRATÉ À PARTIR DE :



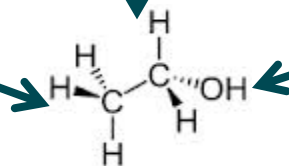
Canne à sucre



Betterave



Froment



2. COMPARAISON DES UTILISATIONS :



Biocarburants

OU



Bioplastiques

Le contexte énergétique mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du bioéthanol

Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.4. Les objectifs du travail

1. ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE LA PRODUCTION DE BIOÉTHANOL HYDRATÉ À PARTIR DE :



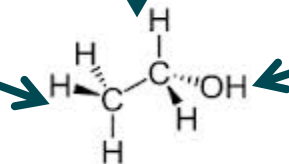
Canne à sucre



Betterave



Froment



2. COMPARAISON DES UTILISATIONS :



Biocarburants

OU



Bioplastiques

EN BELGIQUE

Le contexte énergétique mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du bioéthanol

Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.4. Les objectifs du travail

UTILISATION DE LA MÉTHODE
D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

1. ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE LA PRODUCTION DE BIOÉTHANOL HYDRATÉ À PARTIR DE :



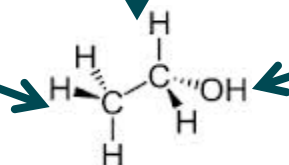
Canne à sucre



Betterave



Froment



2. COMPARAISON DES UTILISATIONS :



Biocarburants

OU



Bioplastiques

EN BELGIQUE

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

1. Introduction générale

1.4. Les objectifs du travail

UTILISATION DE LA MÉTHODE
D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

1. ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE LA PRODUCTION DE BIOÉTHANOL HYDRATÉ À PARTIR DE :



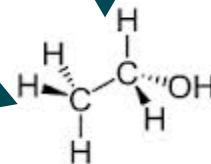
Canne à sucre



Betterave



Froment



2. COMPARAISON DES UTILISATIONS :

PRISE EN COMPTE DU
CHANGEMENT
D'AFFECTATION
DES SOLS



Biocarburants

OU



Bioplastiques

EN BELGIQUE

Le contexte énergétique
mondial

Le bioéthanol

Les utilisations du
bioéthanol

Les objectifs du travail

Plan de l'exposé

1. Introduction générale
- 2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie**
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
4. Les utilisations du bioéthanol
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
6. Conclusions et perspectives

Définition

Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

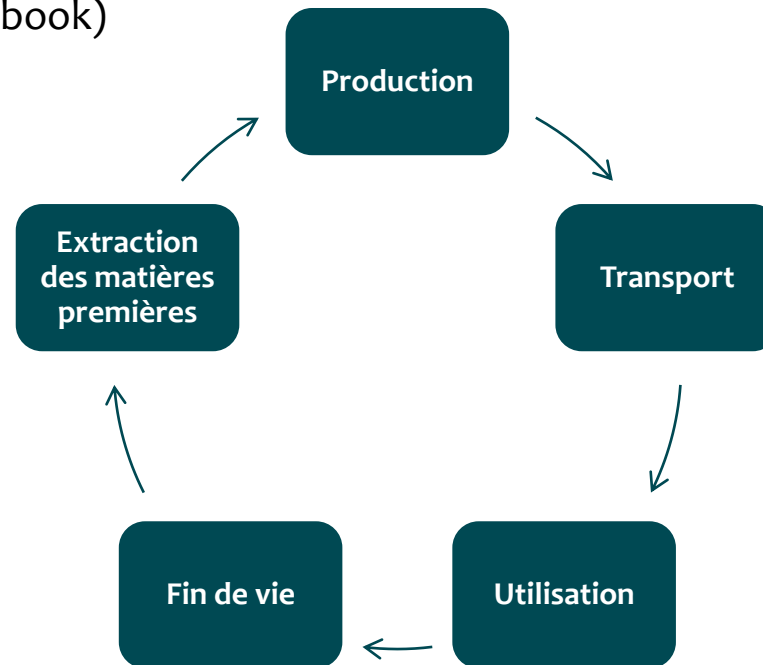
Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.1. Définition

Qu'est ce que l'Analyse du Cycle de Vie?

- Méthode normée : ISO 14040 et 14044
- Guidance réalisée par le guide de l'Union Européenne (International Reference Life Cycle Data System Handbook)



- Évalue l'impact environnemental d'un produit, procédé, service tout au long du cycle de vie

Définition

Objectifs et champ de l'étude

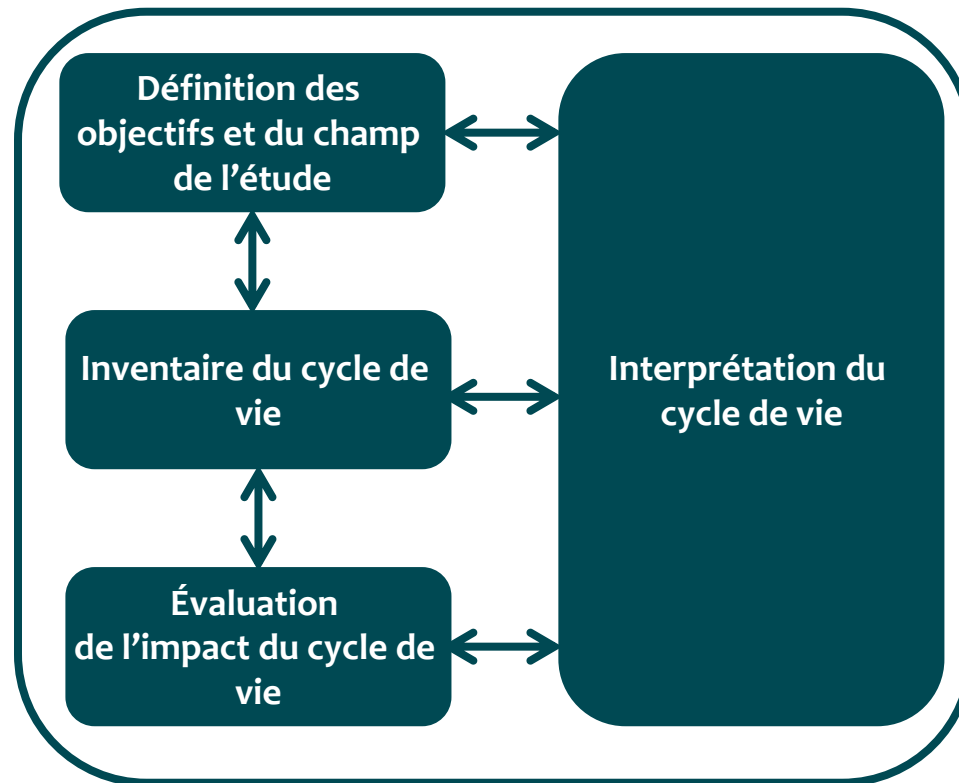
Inventaire du cycle de vie

Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.1. Définition

Quelles sont les étapes d'une Analyse du Cycle de Vie?



Définition

Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.2. Objectifs et champ de l'étude

Quelles sont les possibilités d'application de l'ACV?

Trois situations bien spécifiques :

- Situation A : cadre décisionnel à faibles conséquences – approche produit
 - Identification des points faibles
 - Ecodesign
 - Fiche de déclaration environnementale
 - Comparaison de produits
- Situation B : cadre décisionnel à fortes conséquences
 - Décisions politiques
 - Prise en compte des conséquences sur le marché global
- Situation C : cadre non décisionnel – descriptif
 - Surveillance des impacts environnementaux
 - Informations politiques : mise en évidence des produits ou procédés ayant le plus grand impact environnemental

Définition

Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.2. Objectifs et champ de l'étude

Quelles sont les possibilités d'application de l'ACV?

Trois situations bien spécifiques :

- Situation A : cadre décisionnel à faibles conséquences – approche produit
 - Identification des points faibles
 - Ecodesign
 - Fiche de déclaration environnementale
 - Comparaison de produits
- Situation B : cadre décisionnel à fortes conséquences
 - Décisions politiques
 - Prise en compte des conséquences sur le marché global

Situation C : cadre non décisionnel – descriptif

- Surveillance des impacts environnementaux
- Informations politiques : mise en évidence des produits ou procédés ayant le plus grand impact environnemental

Définition

Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

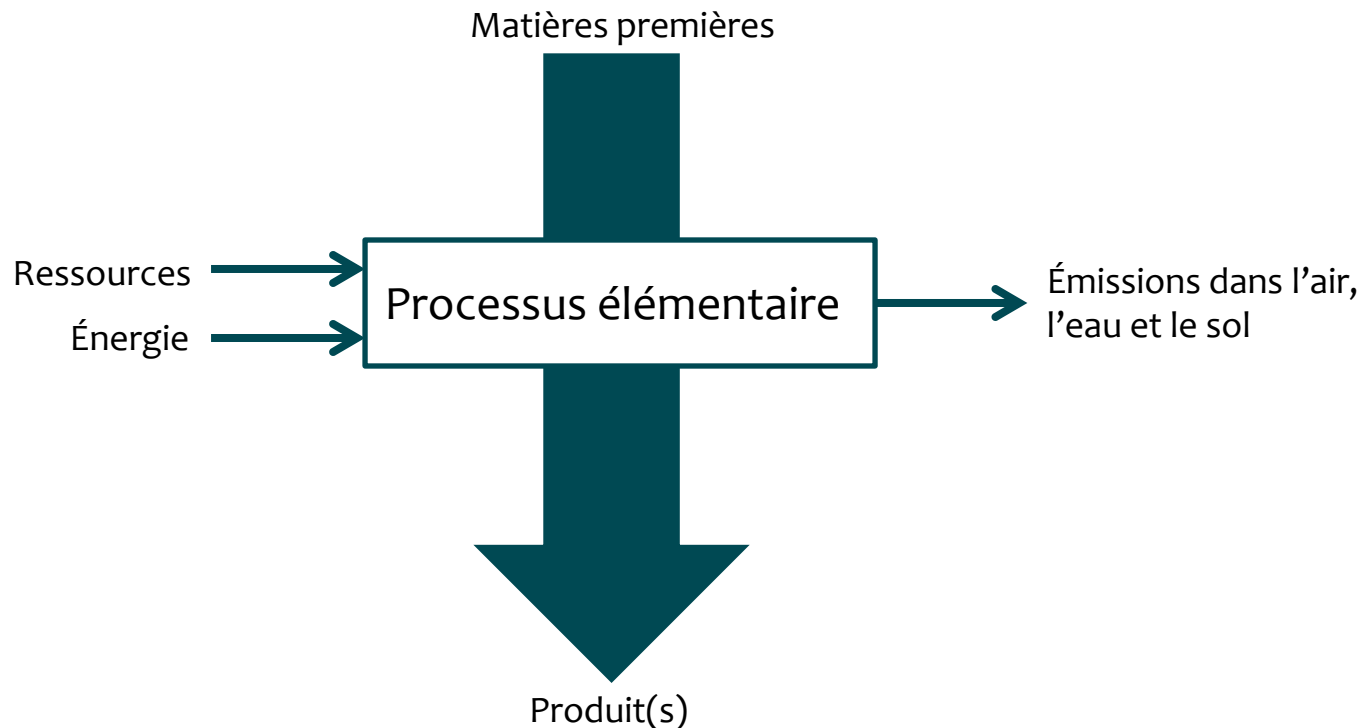
Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.3. Inventaire du cycle de vie

Qu'est ce qu'un inventaire d'ACV?

- Réalisation des bilans de matière et d'énergie pour chaque procédé élémentaire



Définition

Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.4. Évaluation des impacts environnementaux

Comment évaluer l'impact environnemental d'un système?

- Classer les polluants et les consommations par catégorie

Exemples :

$\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O} \rightarrow$ Changement climatique

$\text{NH}_3, \text{NO}_x, \text{SO}_2 \rightarrow$ Acidification terrestre

- Transformer les émissions de polluants en impact environnemental

Exemples :

Gaz à effet de serre en $\text{kg}_{\text{éq}} \text{CO}_2$

Acidification terrestre en $\text{kg}_{\text{éq}} \text{SO}_2$

- Utilisation de méthode d'évaluation d'impact

Exemples :

ReCiPe 2008

Impact 2002+

Usetox

Définition

Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.4. Évaluation des impacts environnementaux

Comment évaluer l'impact environnemental d'un système?

- Classer les polluants et les consommations par catégorie

Exemples :

$\text{CO}_2, \text{CH}_4, \text{N}_2\text{O} \rightarrow$ Changement climatique

$\text{NH}_3, \text{NO}_x, \text{SO}_2 \rightarrow$ Acidification terrestre

- Transformer les émissions de polluants en impact environnemental

Exemples :

Gaz à effet de serre en $\text{kg}_{\text{éq}} \text{CO}_2$

Acidification terrestre en $\text{kg}_{\text{éq}} \text{SO}_2$

- Utilisation de méthode d'évaluation d'impact

Exemples :

ReCiPe 2008

Impact 2002+

Usetox

Définition

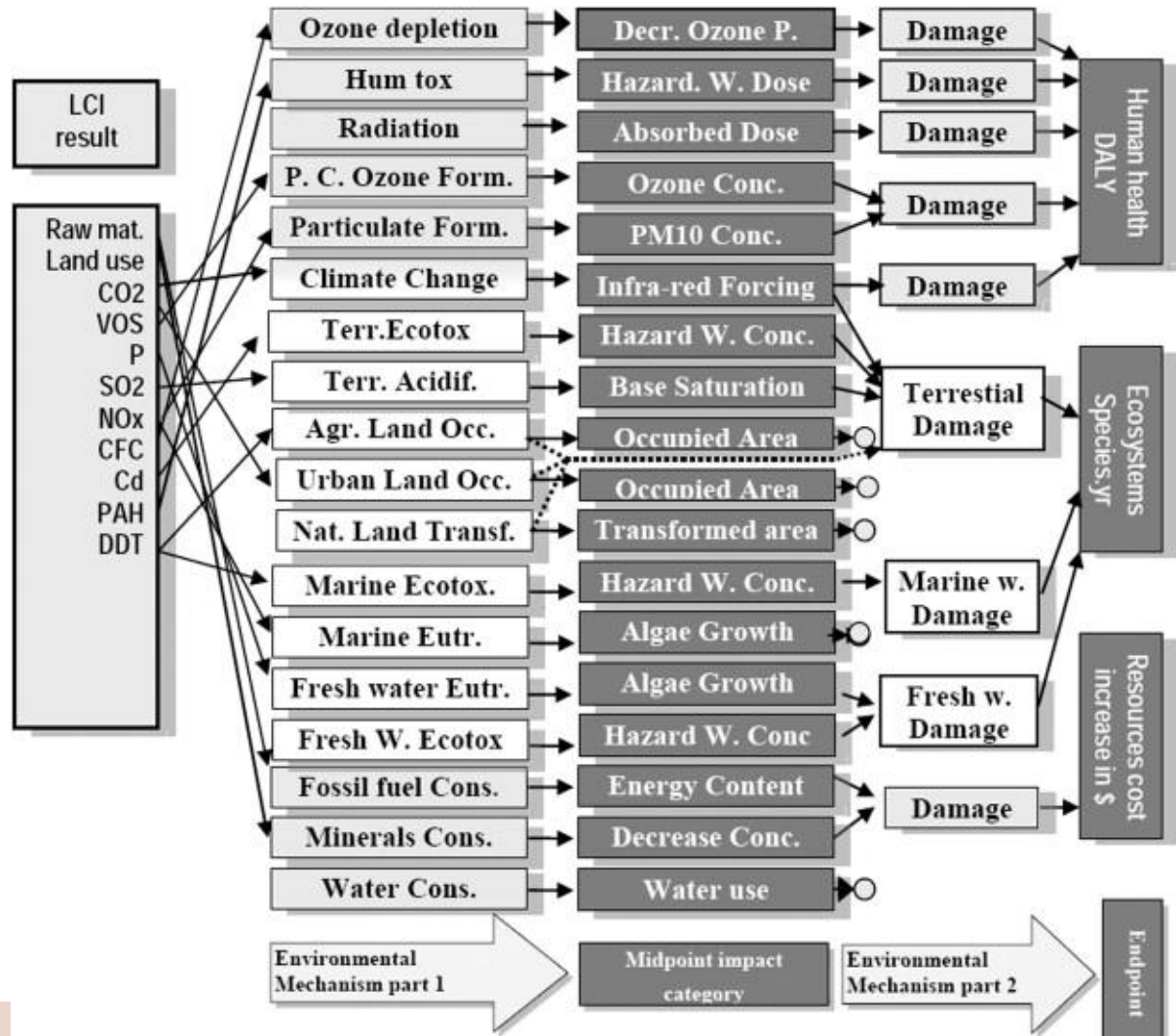
Objectifs et champ de l'étude

Inventaire du cycle de vie

Évaluation des impacts environnementaux

2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie

2.4. Évaluation des impacts environnementaux



Définition

l'étude

inventaire du cycle de vie

évaluation des impacts
environnementaux

Plan de l'exposé

1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
- 3. Impact de la production de bioéthanol hydraté**
4. Les utilisations du bioéthanol
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
6. Conclusions et perspectives

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

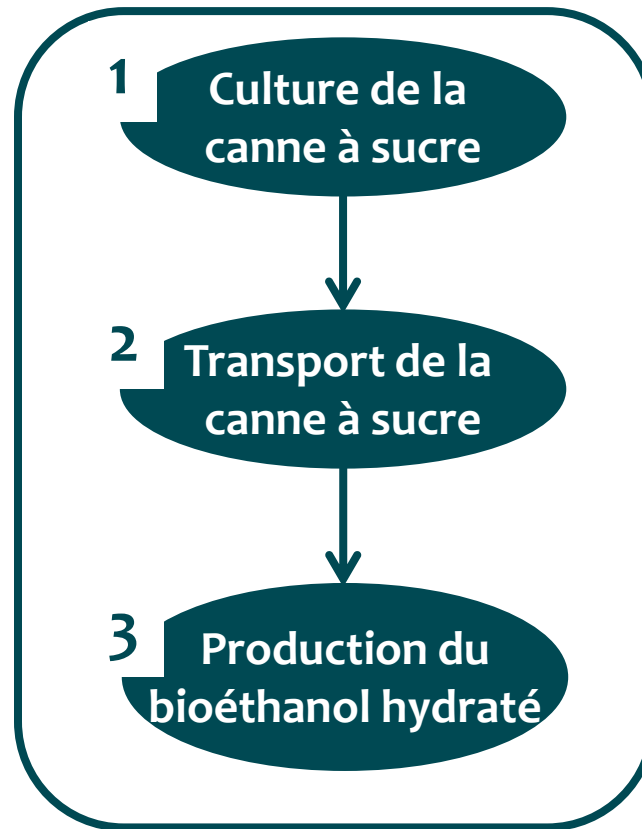
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Quelles sont les étapes prises en compte?



3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Caractéristiques de la culture

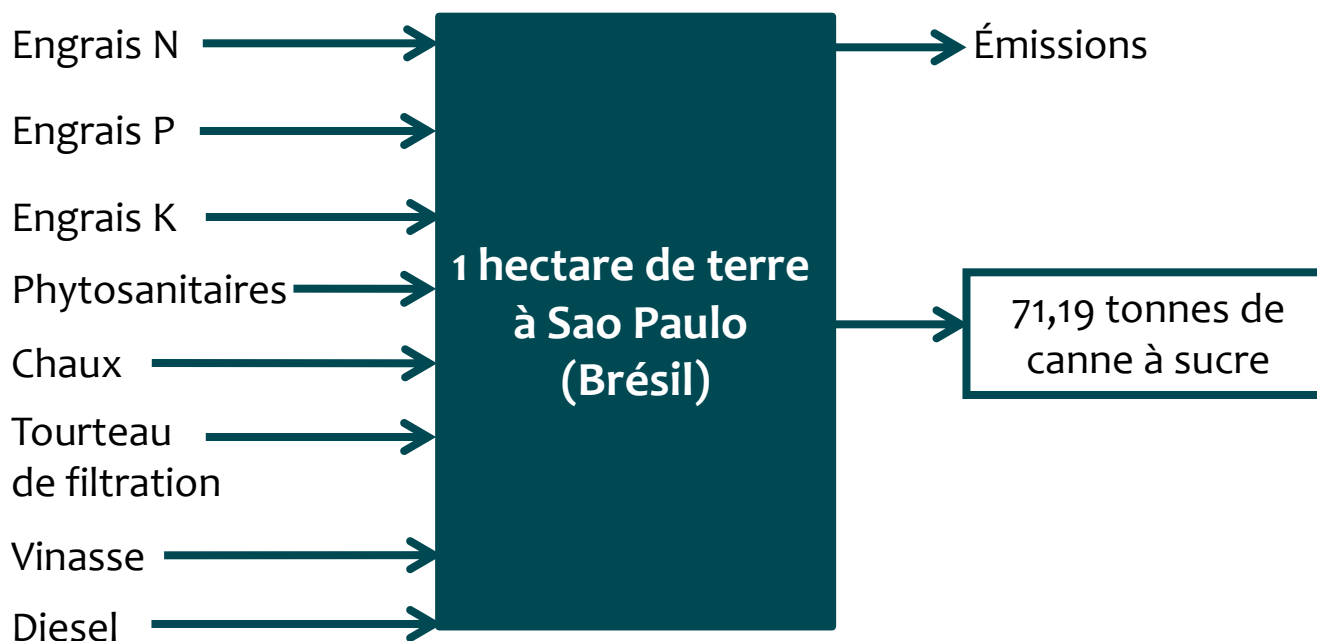
- Haut rendement
 - Varie en fonction des années et du lieu de production
- Labour intense vs. « zéro labour »
- Utilisation de résidus de production du bioéthanol
 - Vinasse : résidu de distillation
 - Tourteau de filtration : résidu de filtration – clarification du jus sucré
- Brûlis avant récolte
 - Récolte manuelle en grande partie
 - Émissions de polluants (méthane, protoxyde d'azote, monoxyde de carbone, particules, etc.)



3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

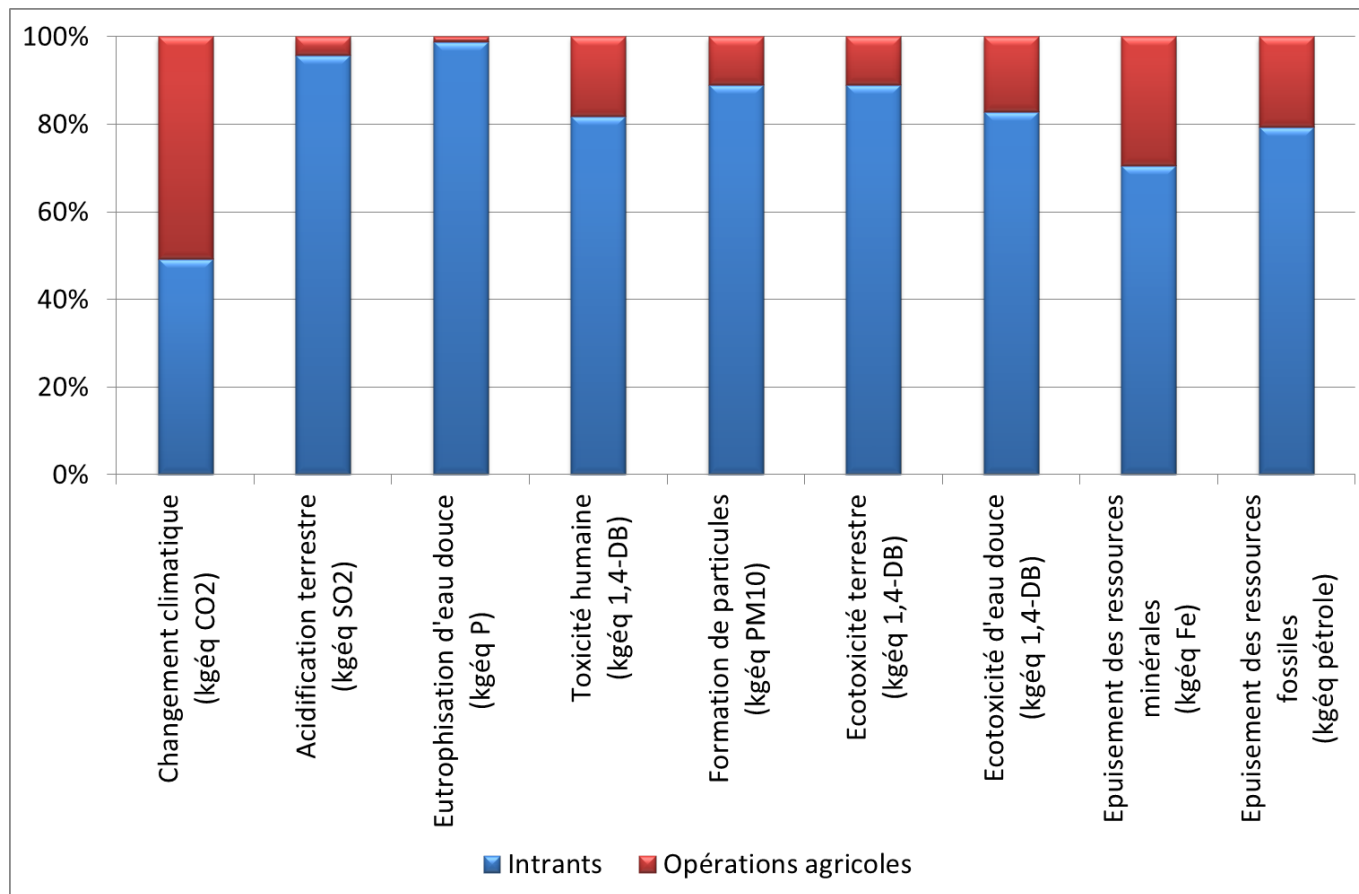
Modélisation de la culture



3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Impact environnemental de la production d'un hectare de canne à sucre



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

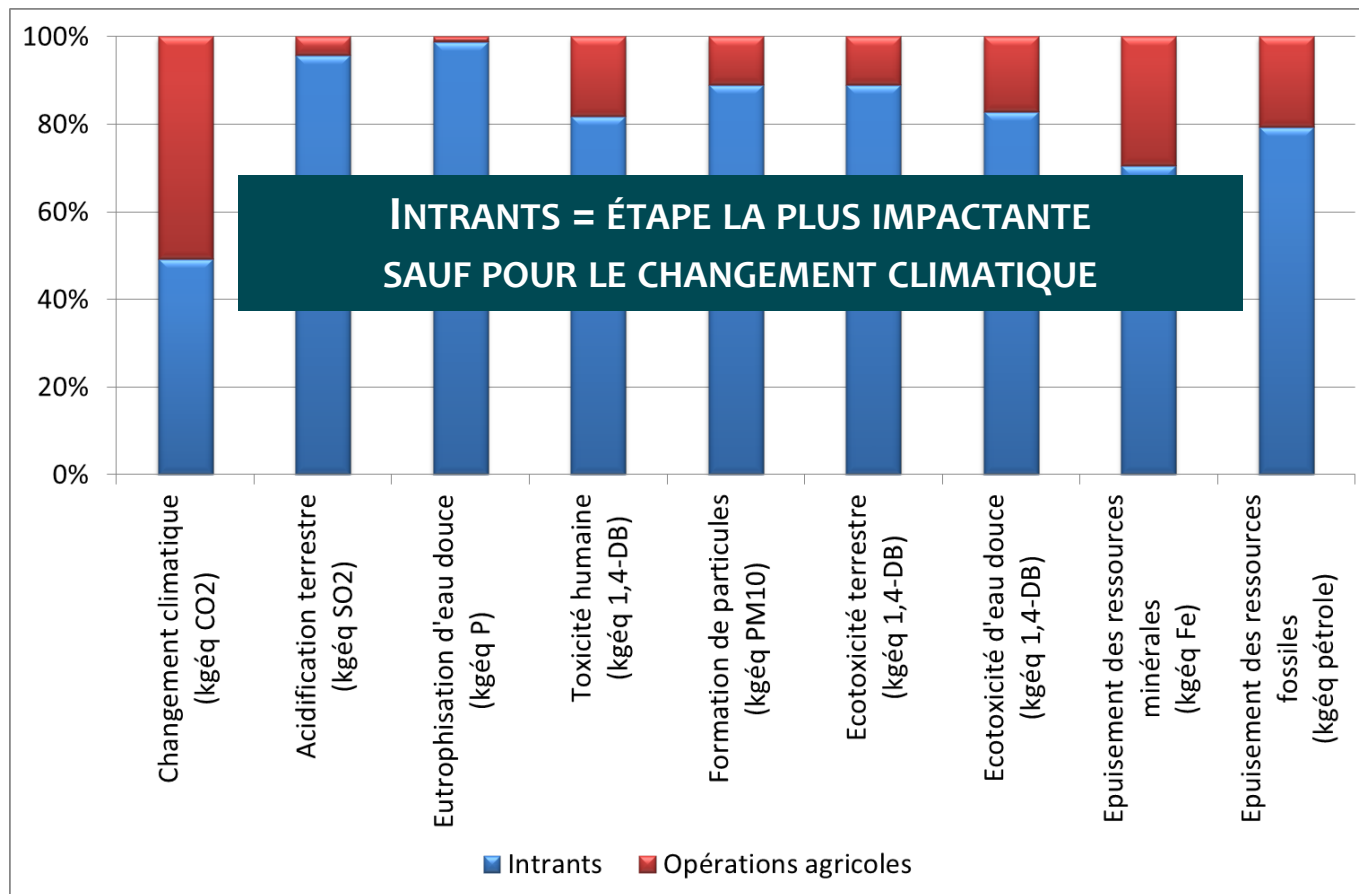
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Impact environnemental de la production d'un hectare de canne à sucre



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

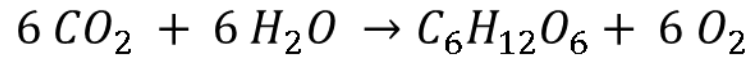
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Équation de photosynthèse



- Calcul du gain CO₂ lors de la culture



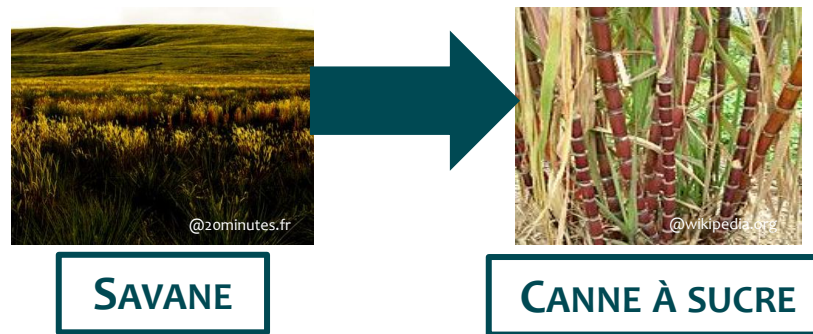
Rendement (t/ha)	Teneur en saccharose (%)	Masse de CO ₂ absorbé (kg/ha)
71,19	14	14620

3. Impact de la production de bioéthanol

2.1. Sur base canne à sucre

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Expansion des cultures de canne à sucre – effet direct



- Modification des stocks de carbone

$$\Delta C_{\text{expansion}} (kg) = C_{\text{savane}} (kg) - C_{\text{canne à sucre}} (kg)$$

- Variation des stocks de carbone convertie en émissions CO₂ et répartie sur 20 ans

$$\text{Émissions de CO}_2 (kg) = \frac{\Delta C_{\text{expansion}} (kg)}{20} \times \frac{44}{12}$$

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Calcul des émissions de CO₂ lors du changement direct d'affectation des sols
 - Passage de savanes à des cultures de canne à sucre de rendement 71,19 t/ha



Scénario – Canne à sucre	Émissions de CO ₂ (kg/ha) LUC*
Meilleur : savane dégradée → culture sans labour	-670
Moyen : savane avec gestion minimale → culture avec labour réduit	4550
Pire : savane entretenue → culture avec labour intense	7950

*LUC = Land Use Change = changement direct d'affectation des sols

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

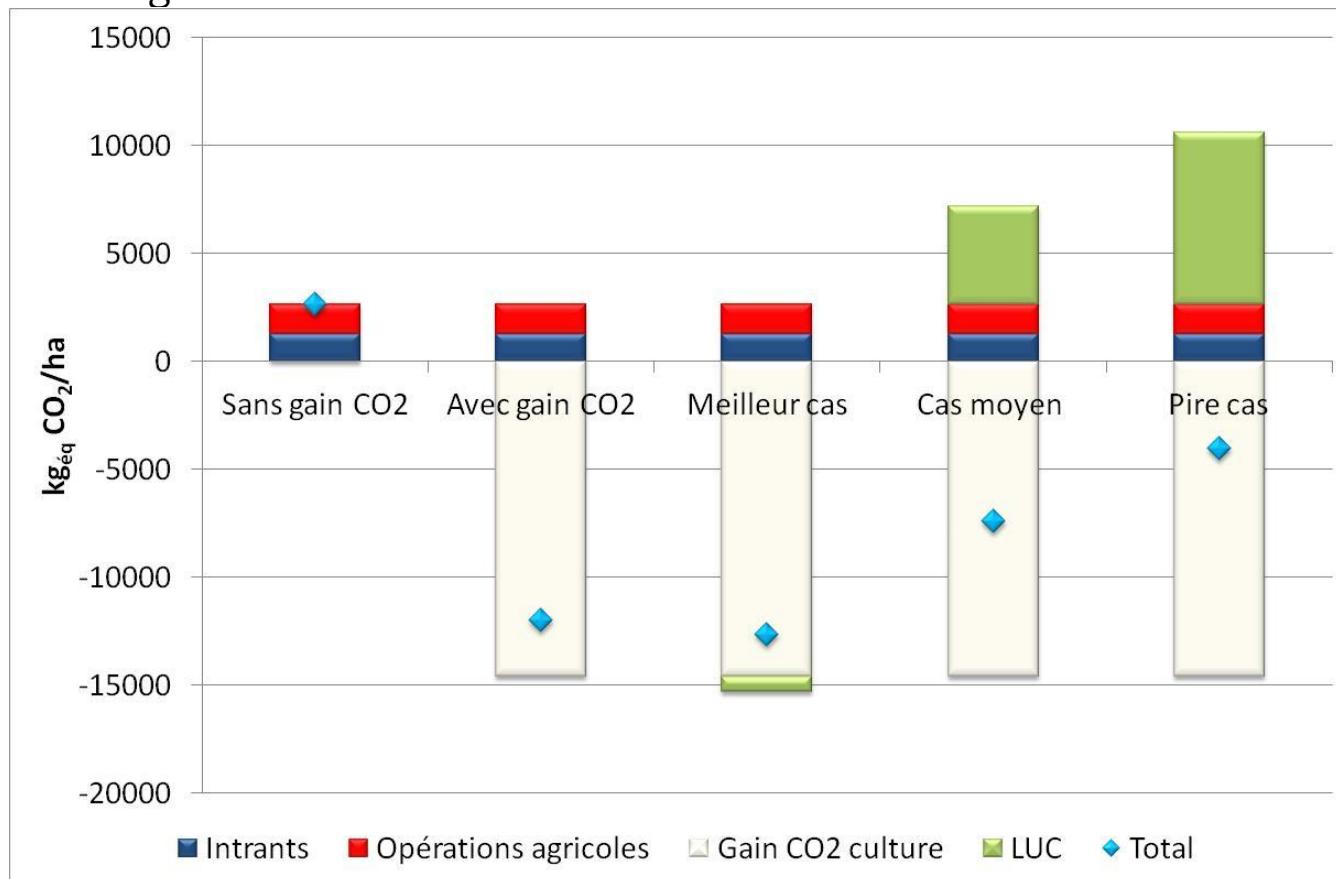
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Zoom sur la catégorie changement climatique

Impact du changement direct d'affectation des sols – LUC



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Expansion des cultures de canne à sucre – effet – 48% de déforestation



FORÊT



SAVANE



Scénario – Canne à sucre	Émissions de CO ₂ *LUC (kg/ha)	Émissions de CO ₂ #ILUC (kg/ha)	Émissions de CO ₂ Total (kg/ha)
Meilleur	-670	15475	14810
Moyen	4550	16714	21260
Pire	7950	17952	25900

*LUC = Land Use Change = changement direct d'affectation des sols

#ILUC = Indirect Land Use Change = changement indirect d'affectation des sols

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

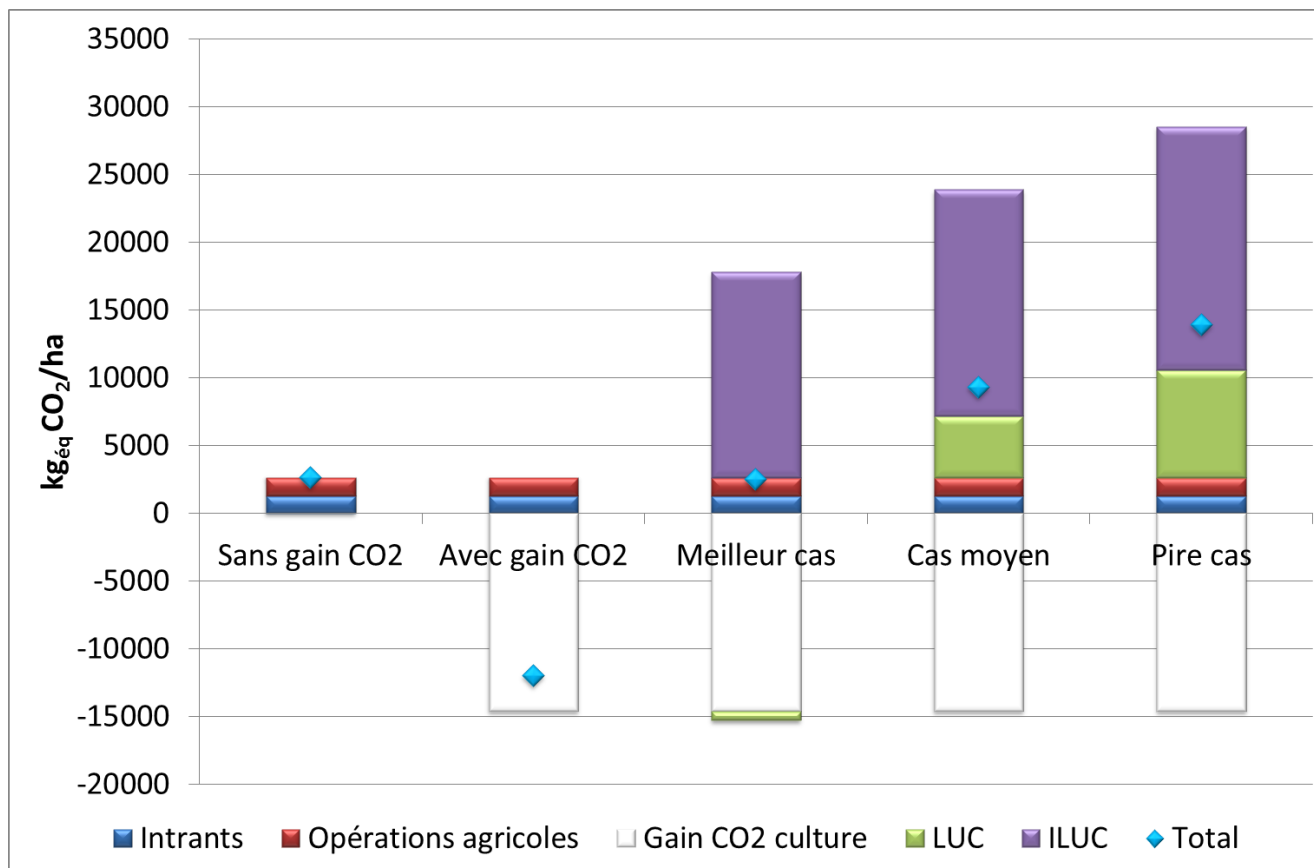
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Zoom sur la catégorie changement climatique

Changement indirect d'affectation des sols – ILUC



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

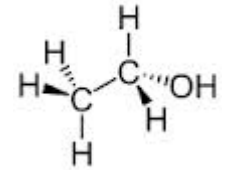
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Caractéristiques du transport

- Transport par camion
- Distance moyenne de 20 km



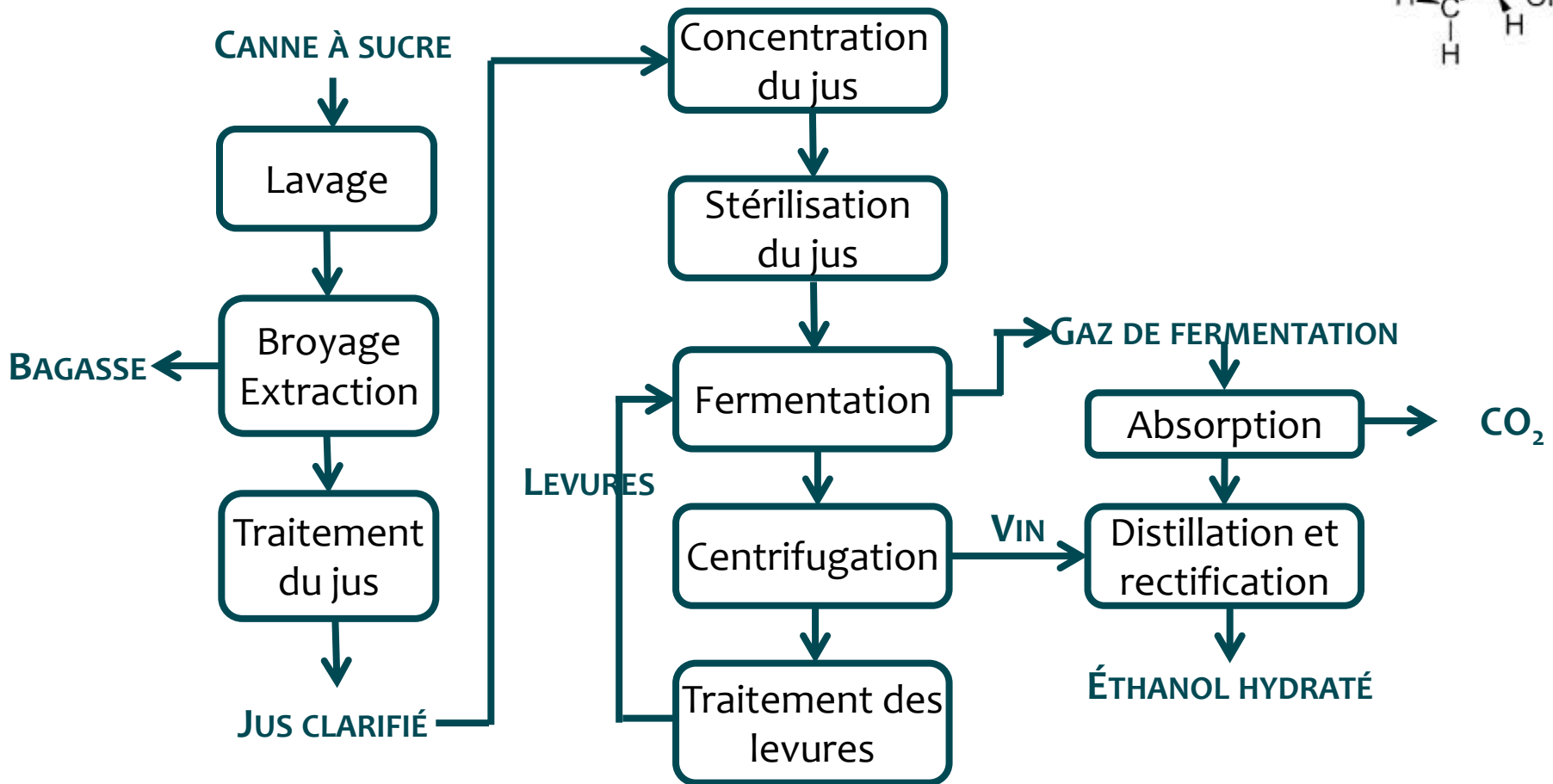
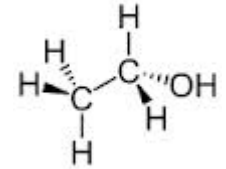
Caractéristiques de la production de bioéthanol hydraté

- Production majoritaire à partir de jus
- Utilisation de la bagasse comme combustible
- Excédent d'électricité revendu sur le réseau
- Prise en compte d'une allocation énergétique
 - 94,3% de l'impact pour le bioéthanol
 - 5,7% de l'impact pour l'électricité



3. Impact de la production de bioéthanol

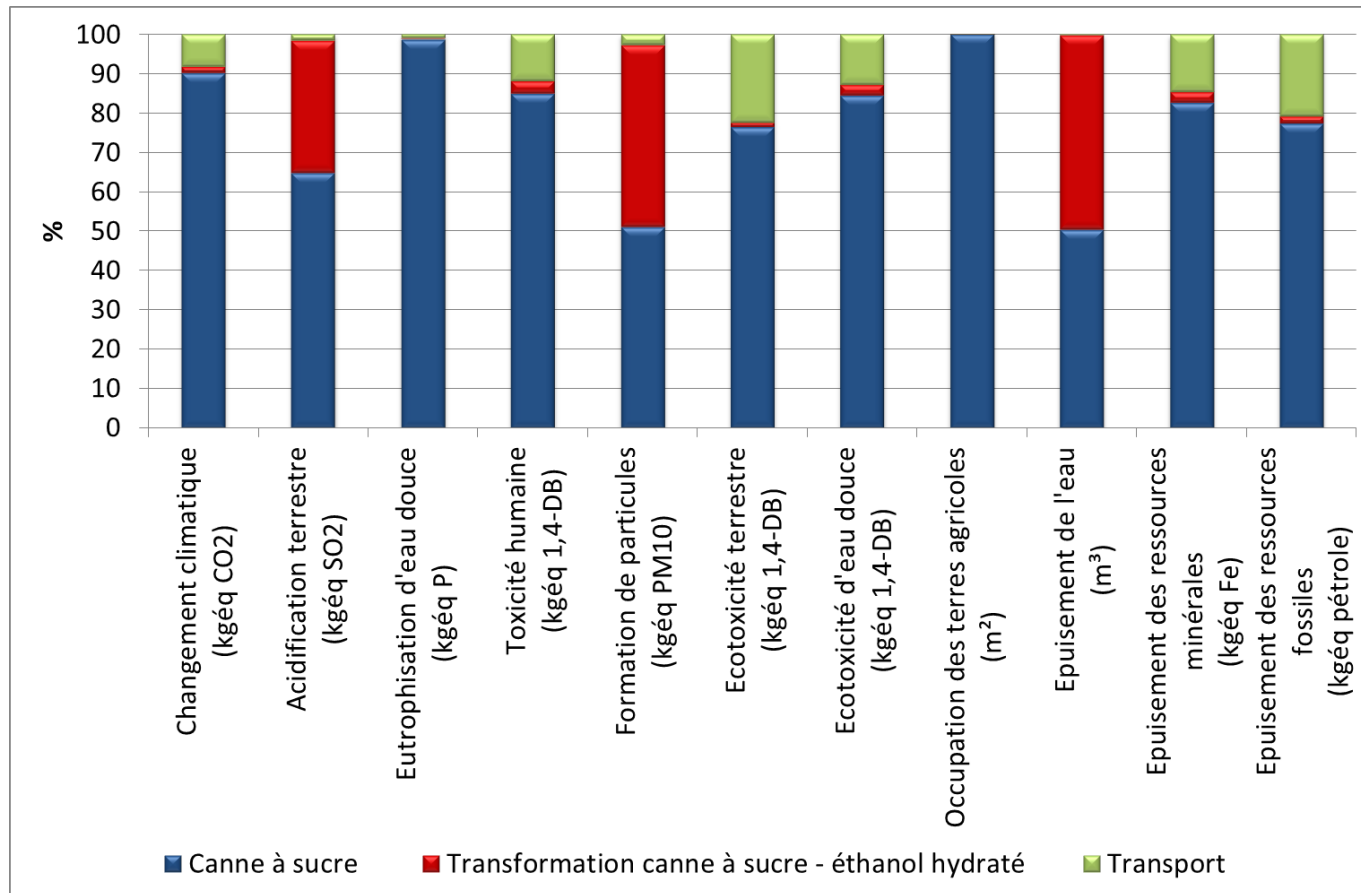
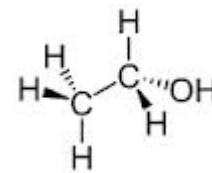
3.1. Sur base canne à sucre



3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

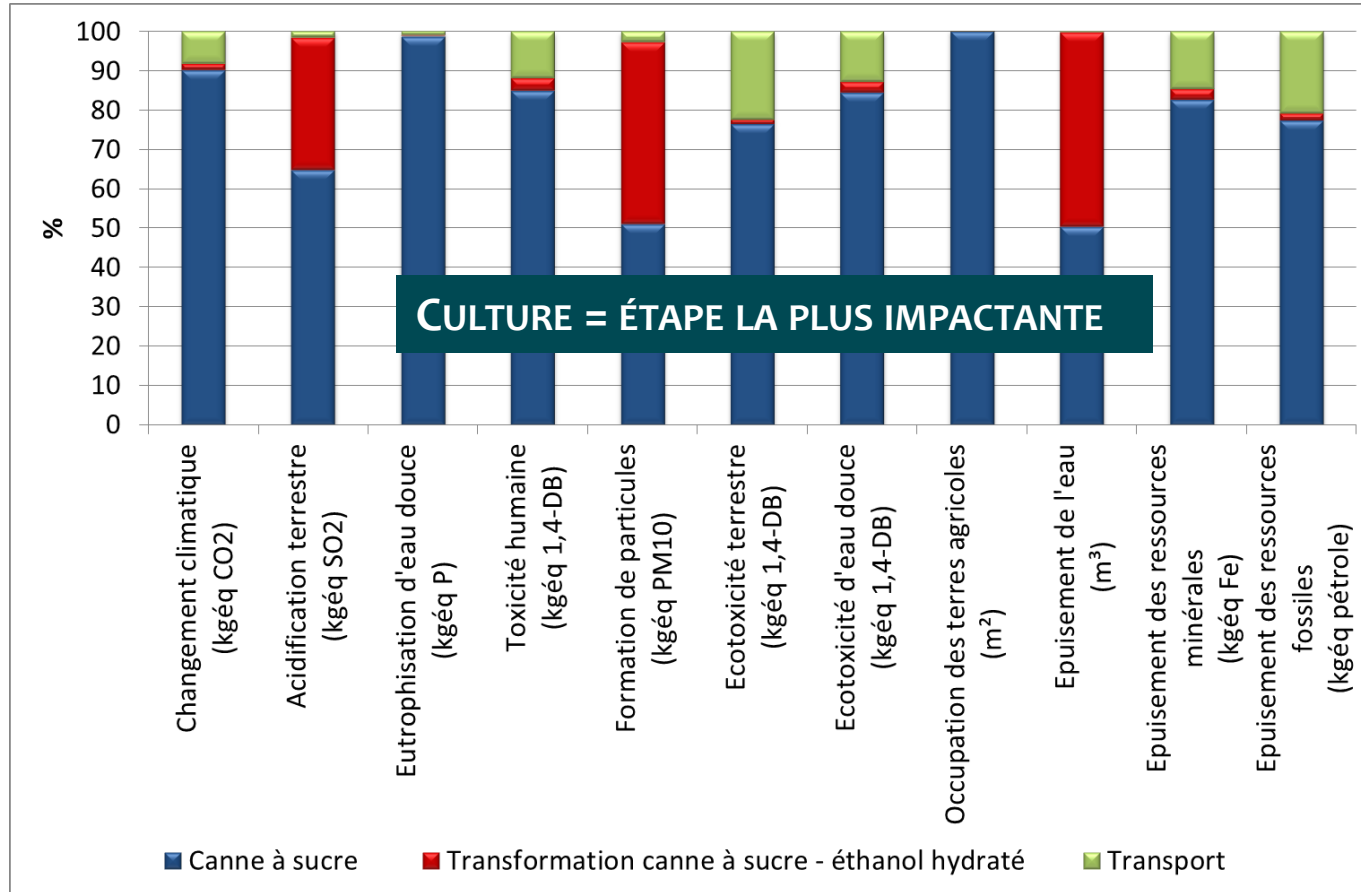
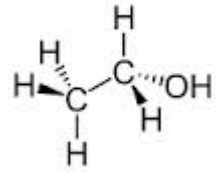
Impact environnemental de la production de 1000 L de bioéthanol hydraté



3. Impact de la production de bioéthanol

3.1. Sur base canne à sucre

Impact environnemental de la production de 1000 L de bioéthanol hydraté



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

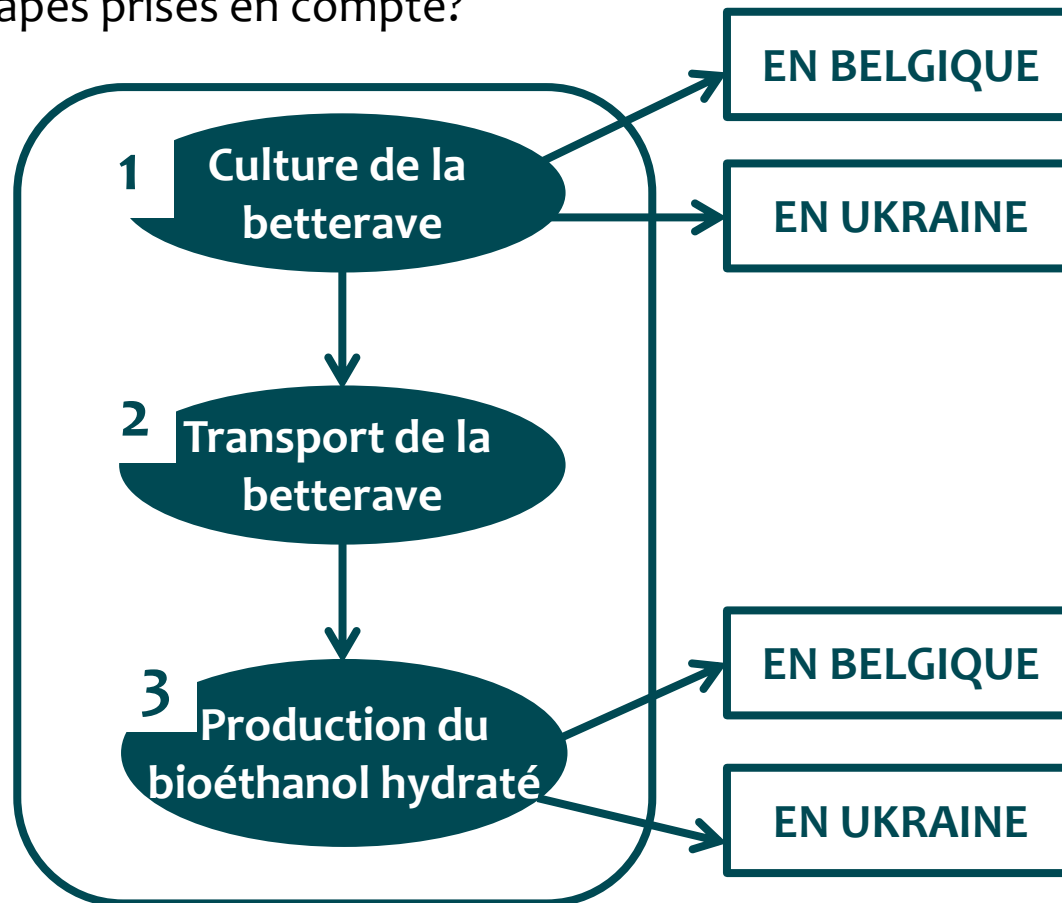
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Quelles sont les étapes prises en compte?



3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Caractéristiques de la culture

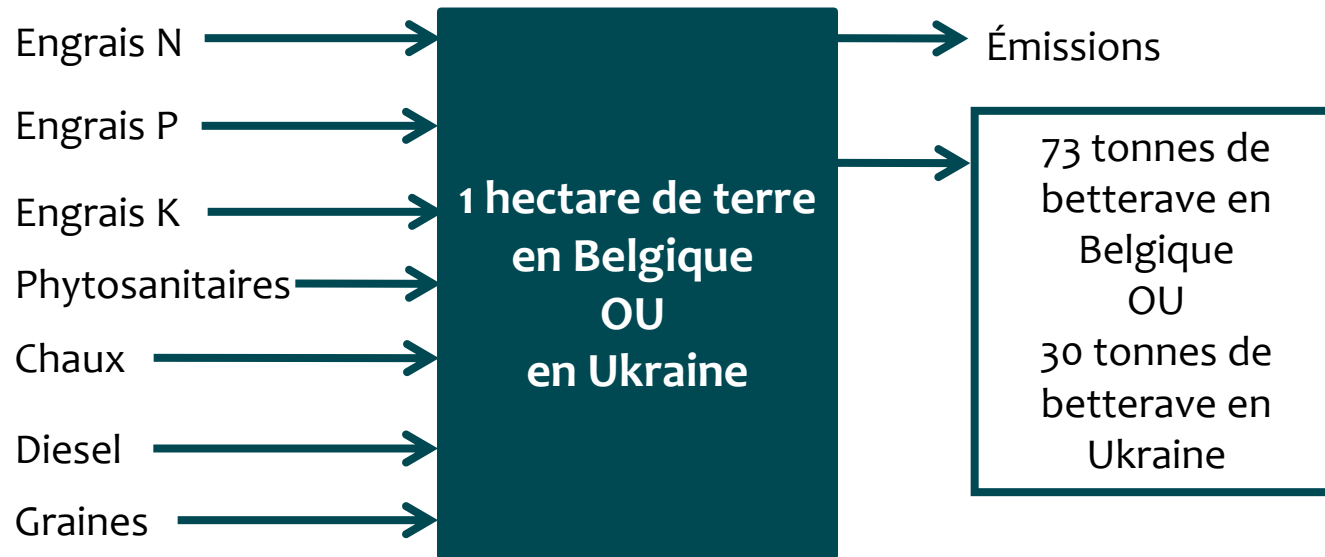
- Haut rendement en Belgique
- Agriculture raisonnée : Efficacité renforcée des engrais
- Pas d'irrigation
- Pas d'utilisation de résidus de production du bioéthanol
 - Autres débouchés pour la vinasse
 - Alimentation animale
 - Production d'acide citrique
- Culture en Ukraine semblable
 - Mêmes intrants
 - Rendements plus faibles



3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

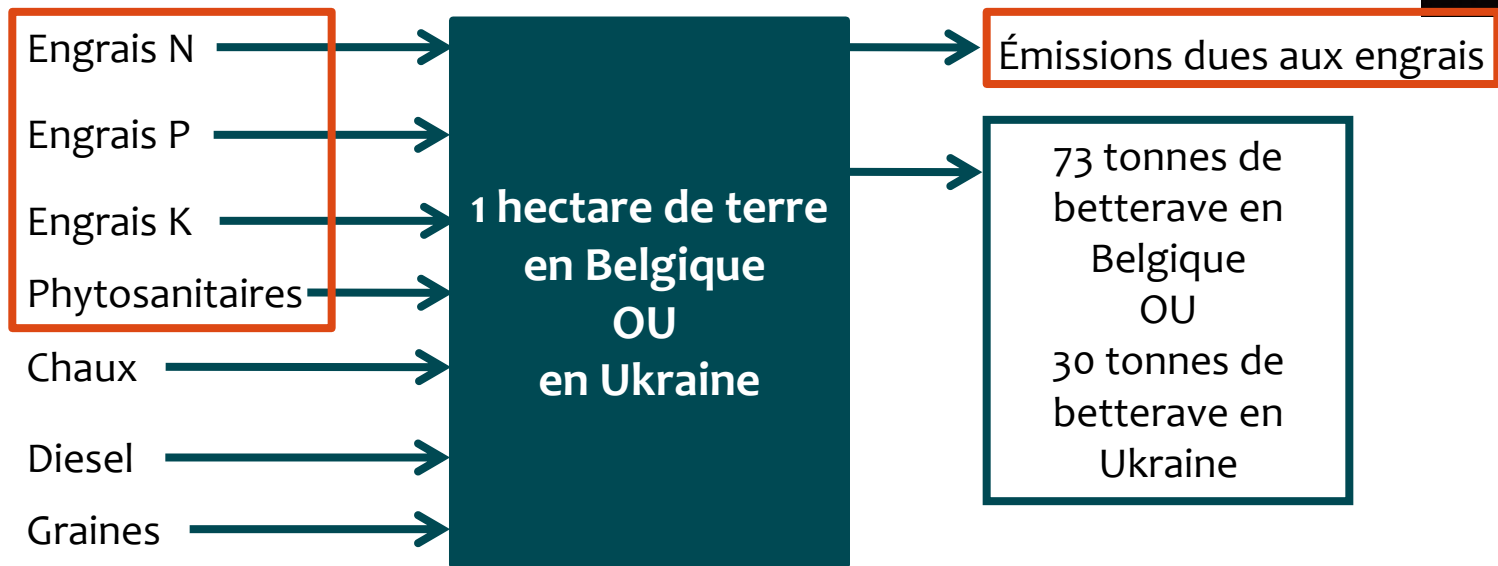
Modélisation de la culture



3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Modélisation de la culture



INTRANTS = ÉTAPE LA PLUS IMPACTANTE

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

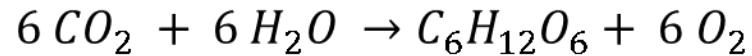
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Équation de photosynthèse



- Calcul du gain CO₂ lors de la culture

Pays	Rendement (t/ha)	Teneur en saccharose (%)	Masse de CO ₂ absorbé (kg/ha)
Belgique	73	15	16060
Ukraine	30	15	6600

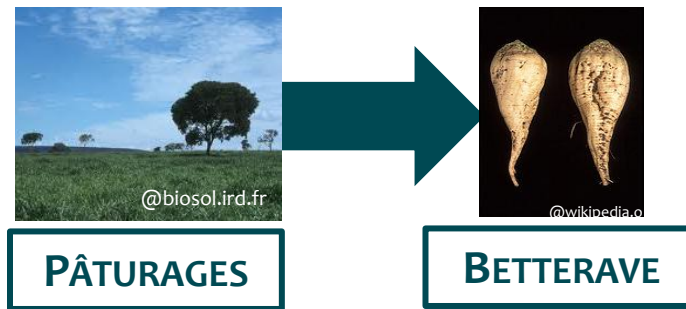


3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Expansion de la culture de la betterave – effet direct
 - Uniquement en Ukraine



- Calcul des émissions de CO₂ lors du changement direct d'affectation des sols

Scénario - Betterave	Émissions de CO ₂ (kg/ha) *LUC
Meilleur : pâturage dégradé → culture sans labour	-4030
Moyen : pâturage avec gestion minimale → culture sans labour	1380
Pire : pâturage entretenu → culture avec labour intense	5130

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

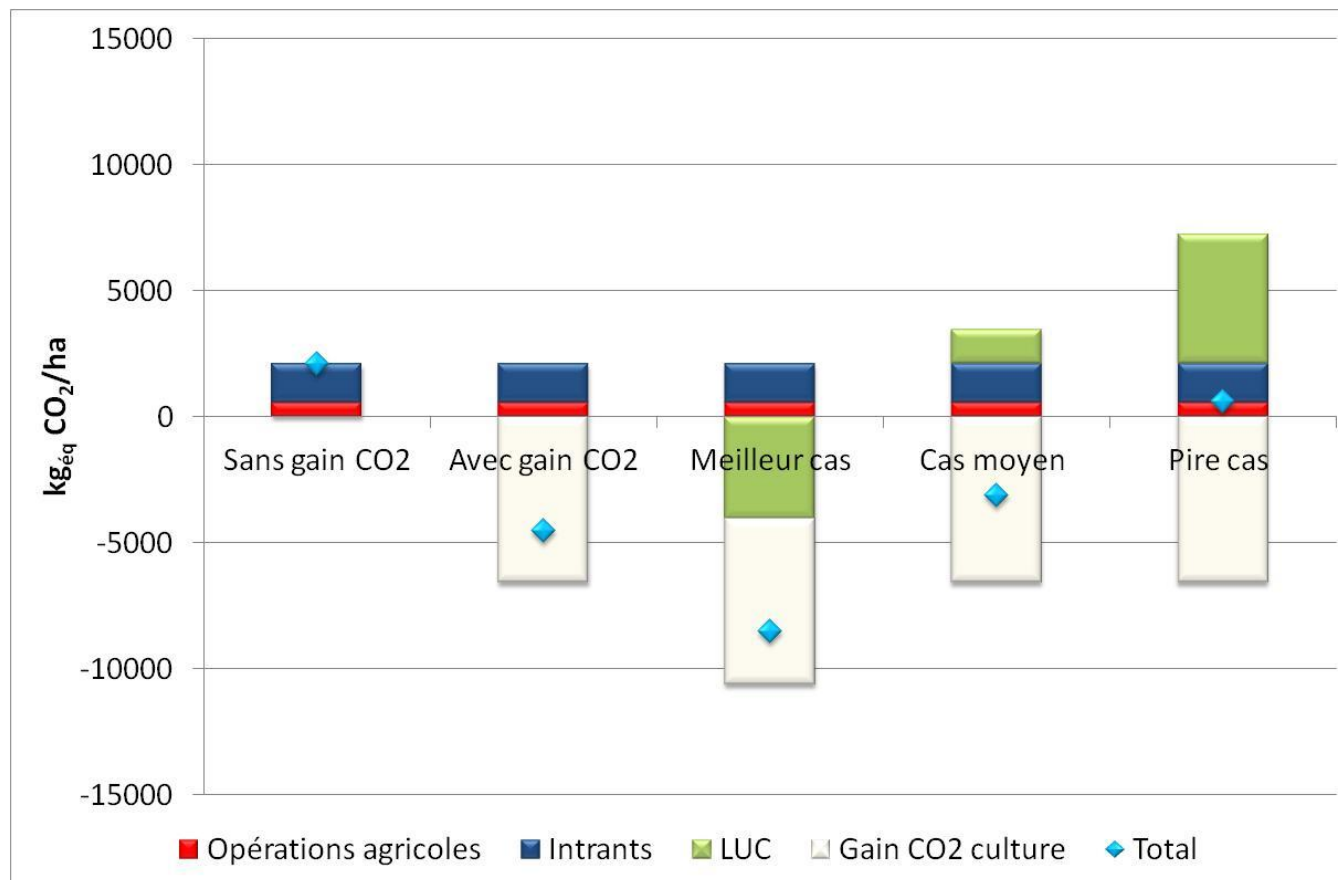
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Zoom sur la catégorie changement climatique

Impact du changement direct d'affectation des sols – LUC – Ukraine



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Expansion de la culture de la betterave – effet indirect
 - Uniquement en Belgique
 - Sous réserve de dérogation de la PAC



Aux Pays – Bas



PÂTURAGES



BETTERAVE

- Calcul des émissions de CO₂ lors du changement indirect d'affectation des sols

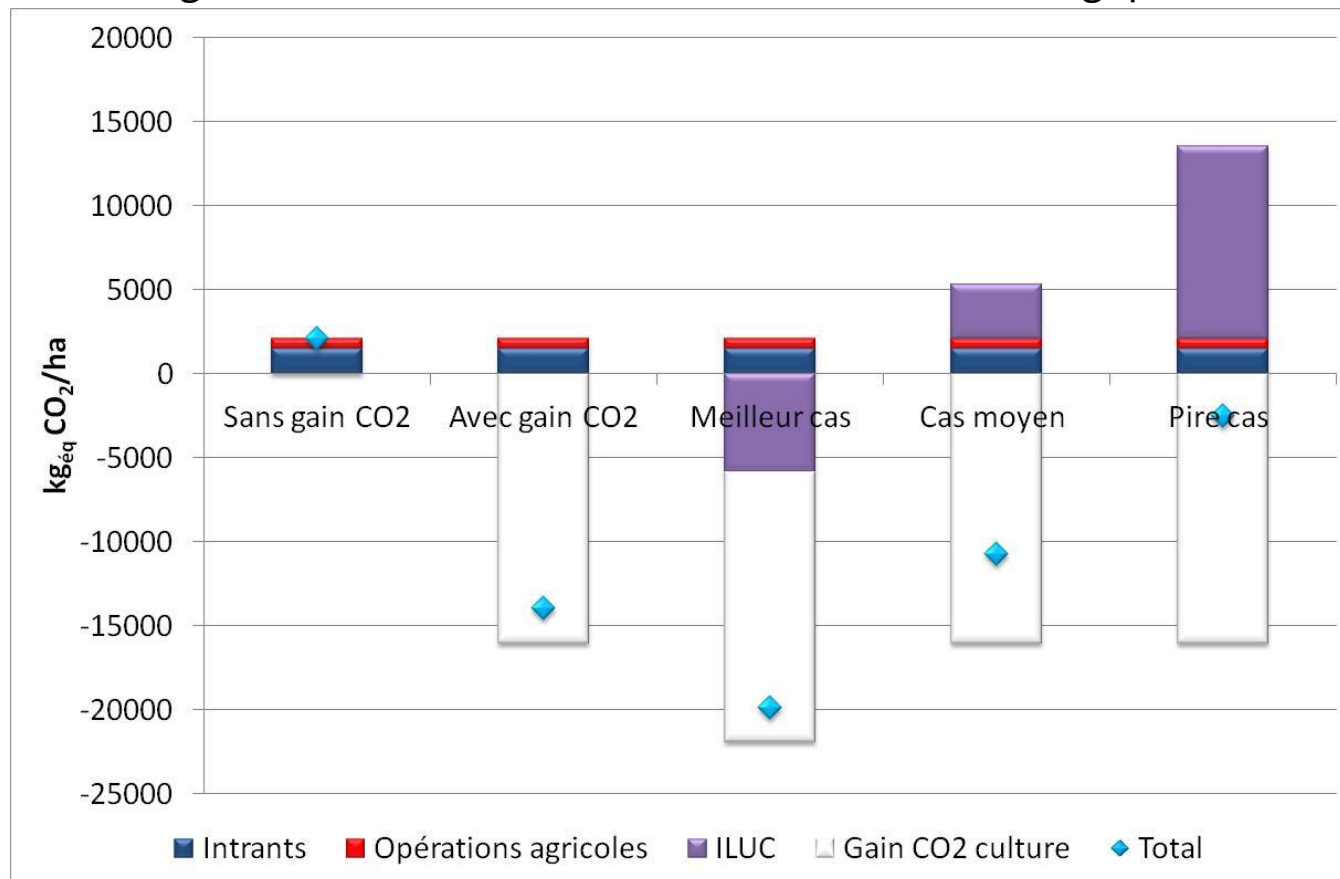
Scénario - Betterave	Émissions de CO ₂ (kg/ha) #ILUC
Meilleur : pâturage dégradé → culture sans labour	-5890
Moyen : pâturage avec gestion minimale → culture avec labour réduit	3230
Pire : pâturage entretenu → culture avec labour intense	11420

3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Zoom sur la catégorie changement climatique

Impact du changement indirect d'affectation des sols – ILUC – Belgique



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave

Caractéristiques du transport

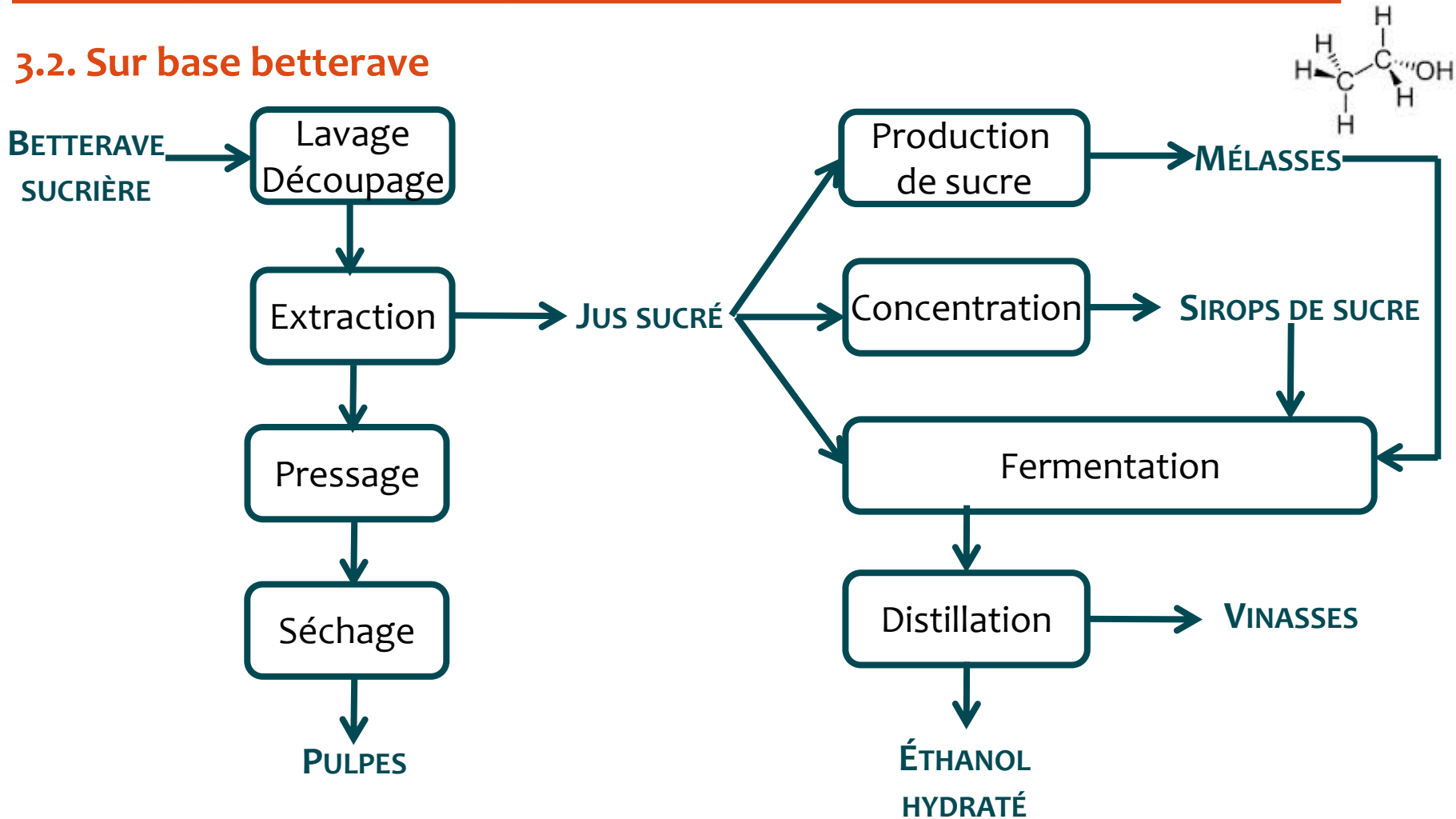
- Transport par camion
- Distance moyenne de 50 km pour des cultures belges ou ukrainiennes

Caractéristiques de la production de bioéthanol hydraté

- Transformation dans le pays d'origine
- Production à partir de jus sucré
- Utilisation des combustibles fossiles comme apport énergétique
- Production de pulpes de betteraves
 - Valorisées en alimentation animale
- Prise en compte d'une allocation énergétique
 - 76% de l'impact pour le bioéthanol
 - 24% de l'impact pour les coproduits

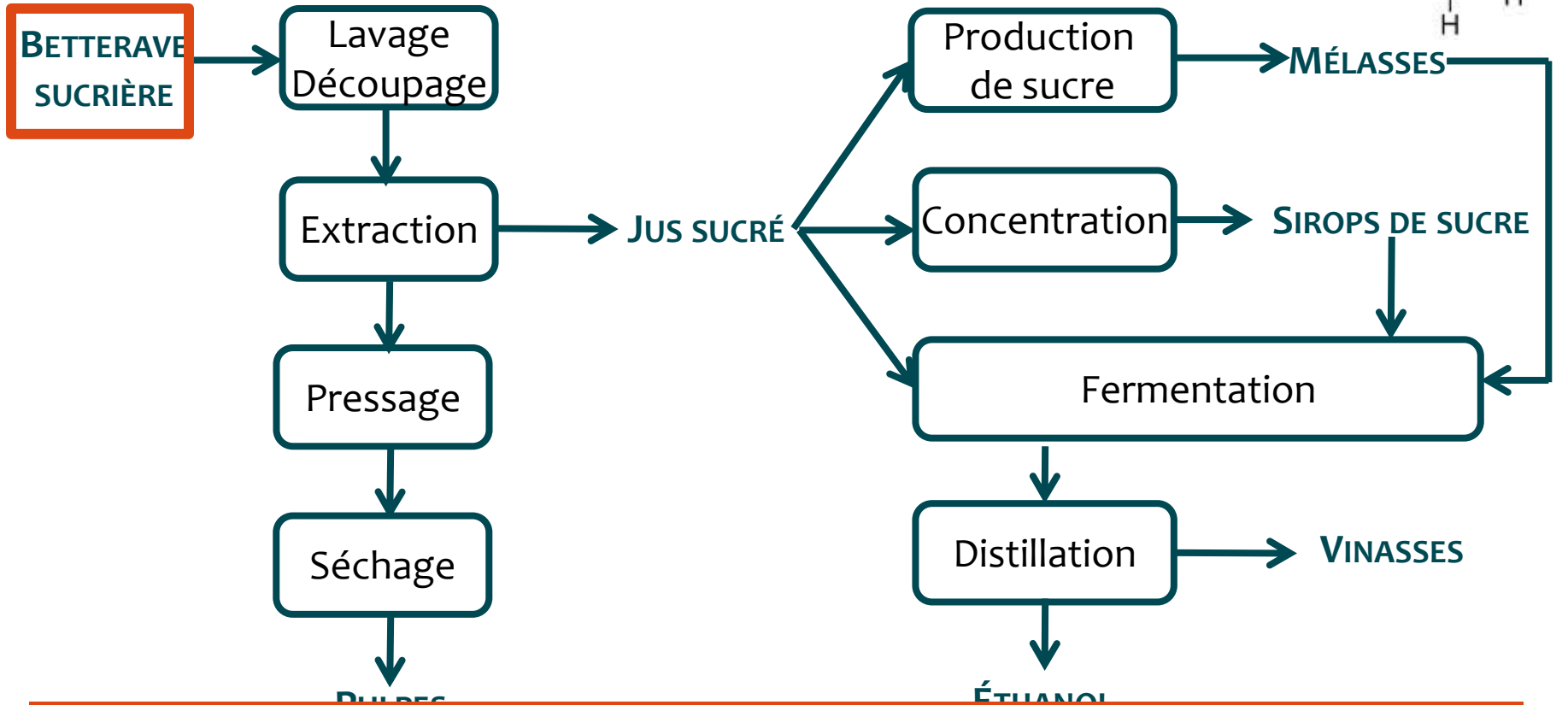
3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave



3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave



CULTURE = ÉTAPE LA PLUS IMPACTANTE POUR LA MAJORITÉ DES CATÉGORIES D'IMPACT

Sur base canne à sucre

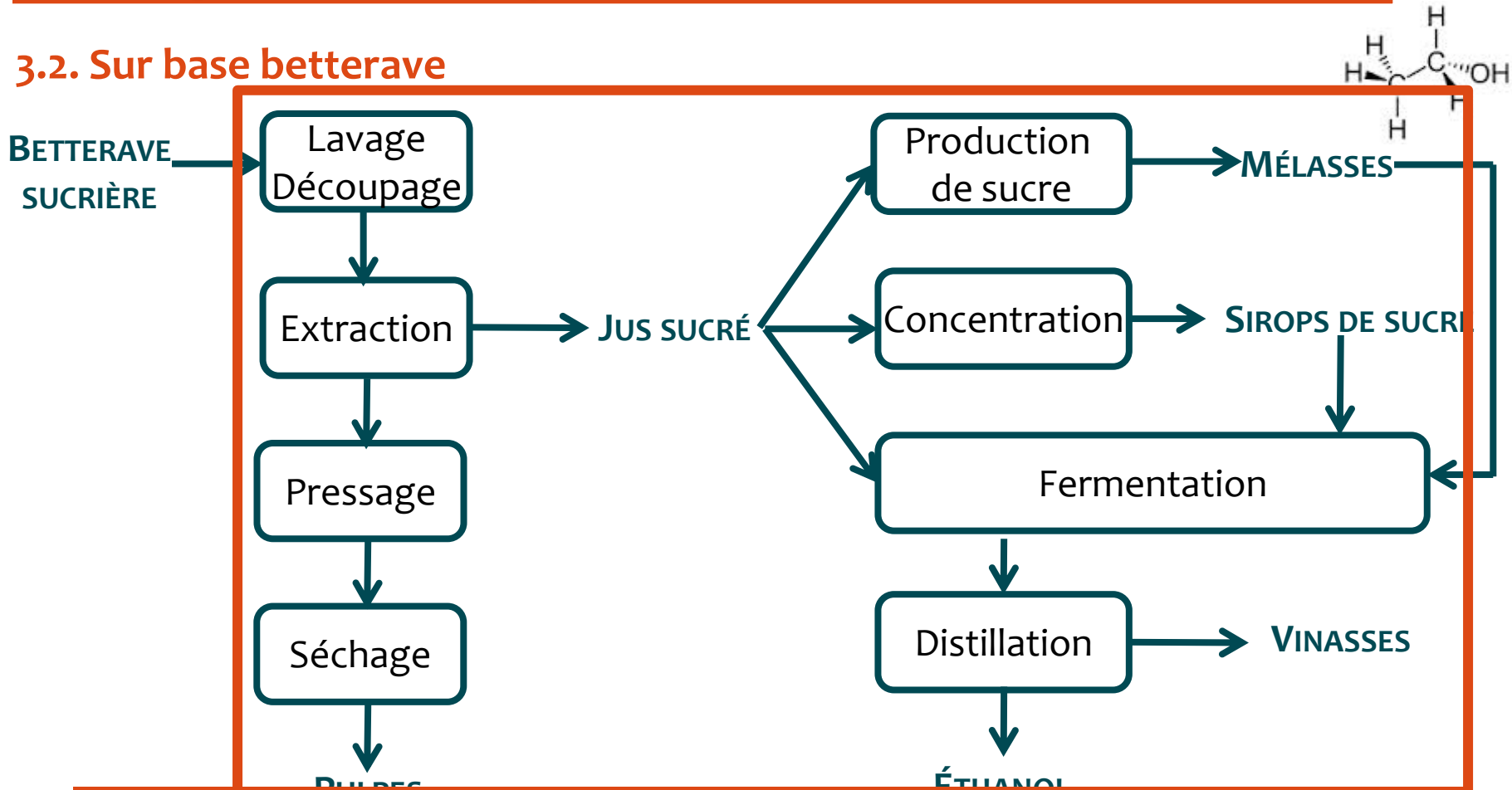
Sur base betterave

Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.2. Sur base betterave



TRANSFORMATION = ÉTAPE LA PLUS IMPACTANTE POUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LES RESSOURCES FOSSILES

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

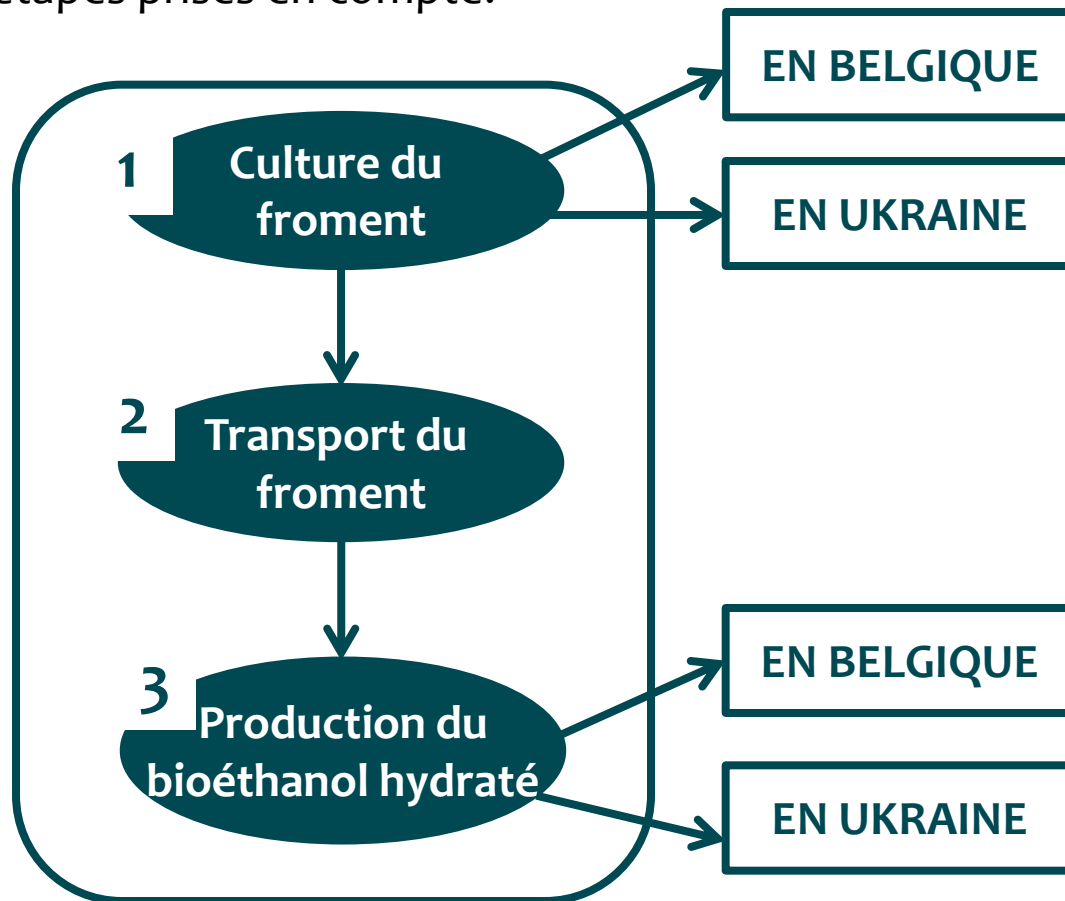
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Quelles sont les étapes prises en compte?



3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Caractéristiques de la culture

- Haut rendement en Belgique
- Agriculture raisonnée : Efficacité renforcée des engrais
- Pas d'irrigation
- Production de la paille
 - Utilisation sur champ
- Culture en Ukraine semblable
 - Mêmes intrants
 - Rendements plus faibles



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

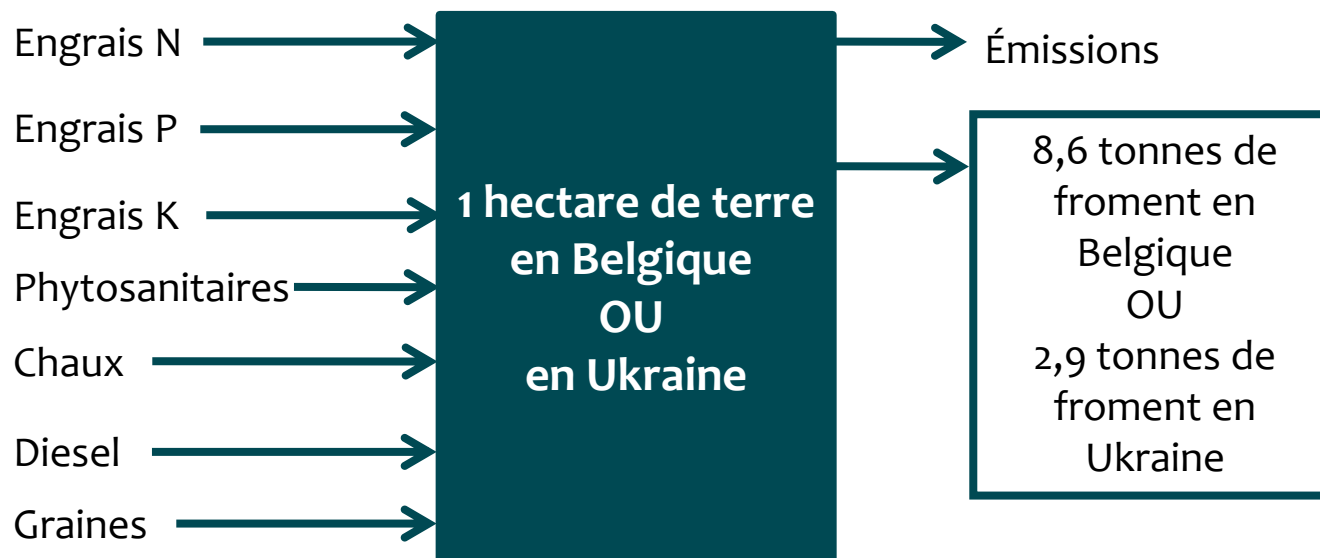
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Modélisation de la culture



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

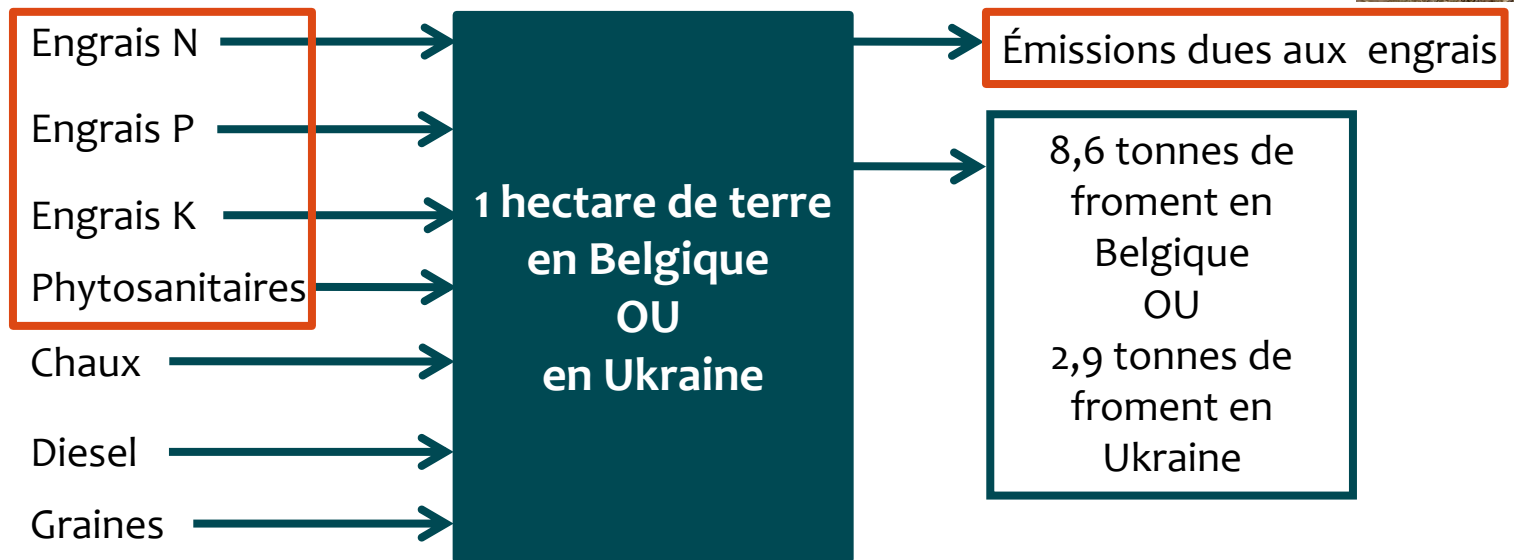
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Modélisation de la culture



INTRANTS = ÉTAPE LA PLUS IMPACTANTE

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

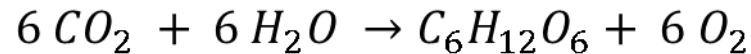
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

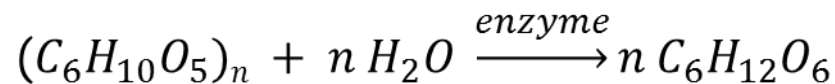
3.3. Sur base froment

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Équation de photosynthèse



- Hydrolyse de l'amidon



- Calcul du gain CO₂ lors de la culture

Pays	Rendement (t/ha)	Teneur en amidon (%)	Masse de CO ₂ absorbé (kg/ha)
Belgique	8,6	62,5	7900
Ukraine	2,9	62,5	2600



3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Zoom sur la catégorie changement climatique

- Expansion de la culture du froment – effet direct
 - Résultats identiques à ceux de la betterave en Ukraine
- Expansion de la culture du froment – effet indirect
 - Uniquement en Belgique
 - Sous réserve de dérogation de la PAC



En France
Ou
En Allemagne



PÂTURAGES



FROMENT

- Calcul des émissions de CO₂ lors du changement indirect d'affectation des sols

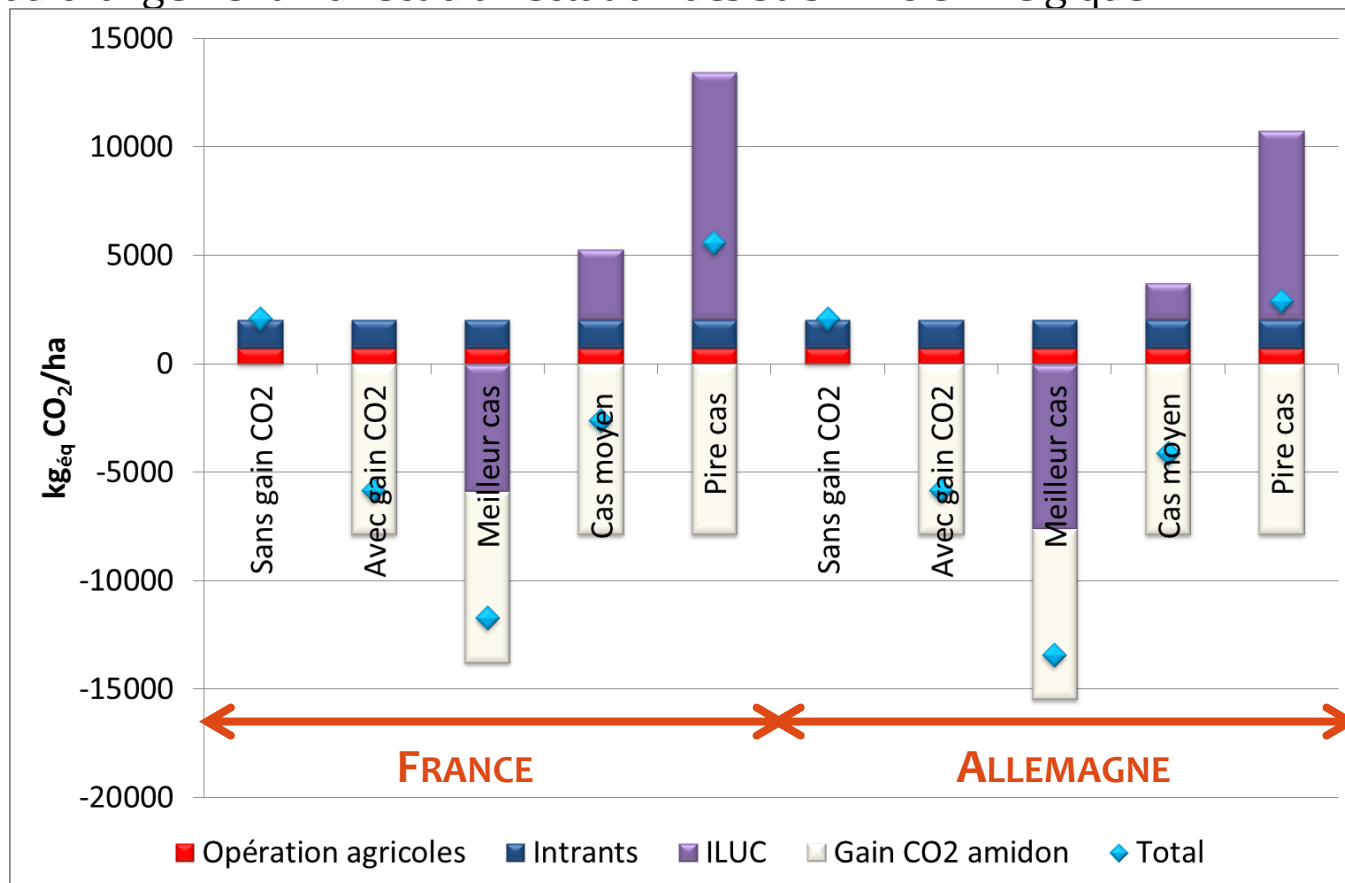
Scénario - Froment	Émissions de CO ₂ (kg/ha) #ILUC - France	Émissions de CO ₂ (kg/ha) #ILUC - Allemagne
Meilleur : pâturage dégradé → culture sans labour	-5890	-7590
Moyen : pâturage avec gestion minimale → culture avec labour réduit	3230	1700
Pire : pâturage entretenu → culture avec labour intense	11420	8720

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Zoom sur la catégorie changement climatique

Impact du changement indirect d'affectation des sols – ILUC – Belgique



Sur base canne à sucre

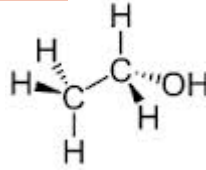
Sur base betterave

Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment



Caractéristiques du transport

- Transport par camion et distance moyenne de 75 km en Ukraine
- Transport par bateau sur 150 km et par camion sur 250 km pour la Belgique
- Transport possible entre l'Ukraine et la Belgique sur une distance de 2300 km

Caractéristiques de la production de bioéthanol hydraté

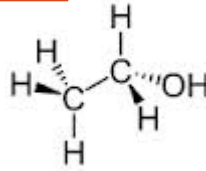
- Transformation dans le pays d'origine
- Deux technologies disponibles
 - Voie humide (Wet milling) → en Belgique
 - Voie sèche (Dry Milling) → en Ukraine

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Caractéristiques du procédé en voie humide (Wet Milling)

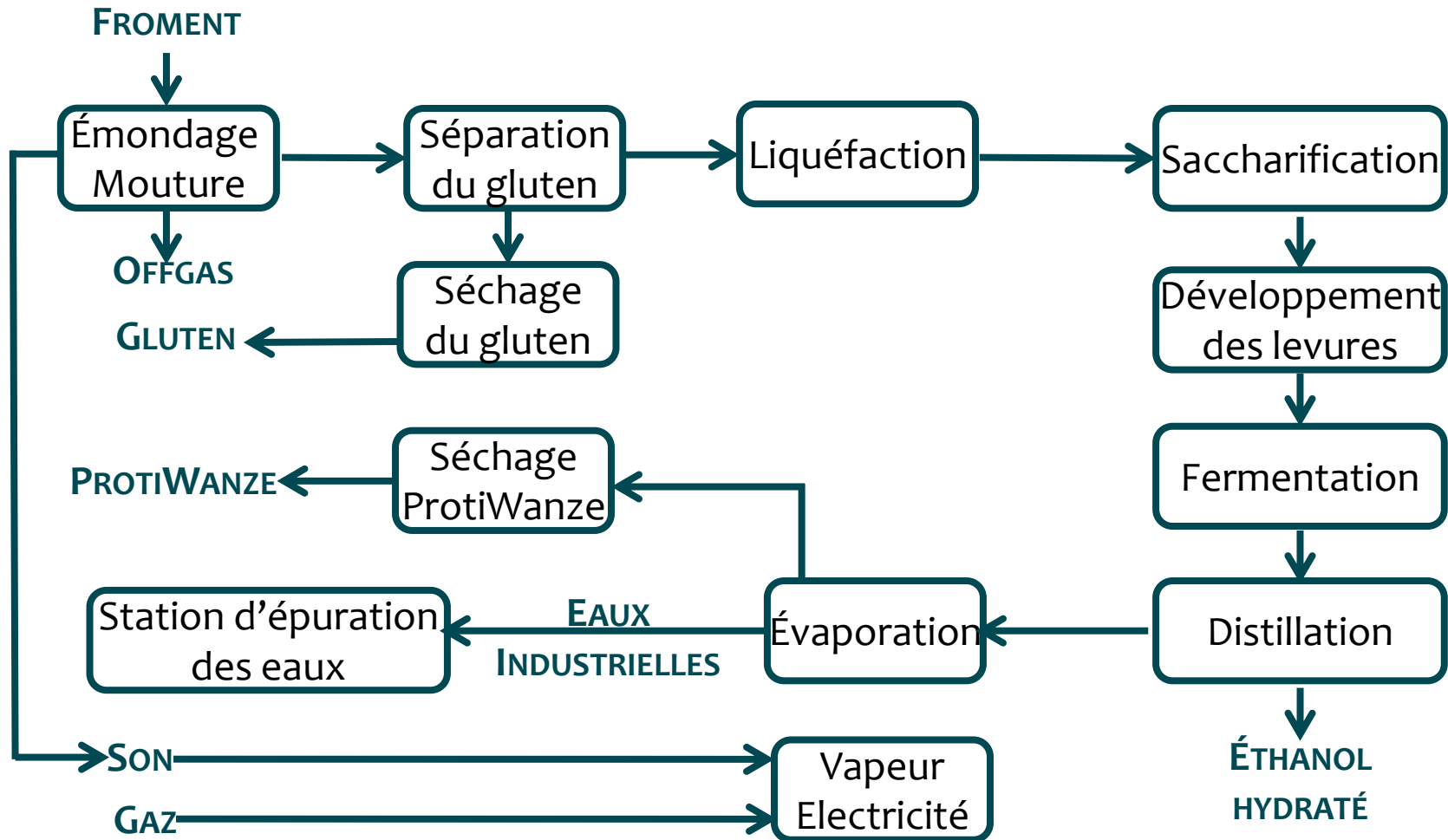
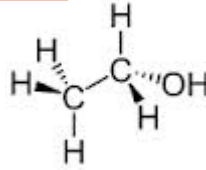
- Données basées sur un site industriel : BioWanze
- Utilisation du son en tant que combustible
- Appoint amené par du gaz naturel
- Coproduits particuliers :
 - Gluten : alimentation humaine et animale
 - ProtiWanze : alimentation animale
- Prise en compte d'une allocation énergétique
 - 82,40% pour le bioéthanol
 - 2,98% pour le gluten
 - 14,62% pour le ProtiWanze



3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Voie Humide – BioWanze



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

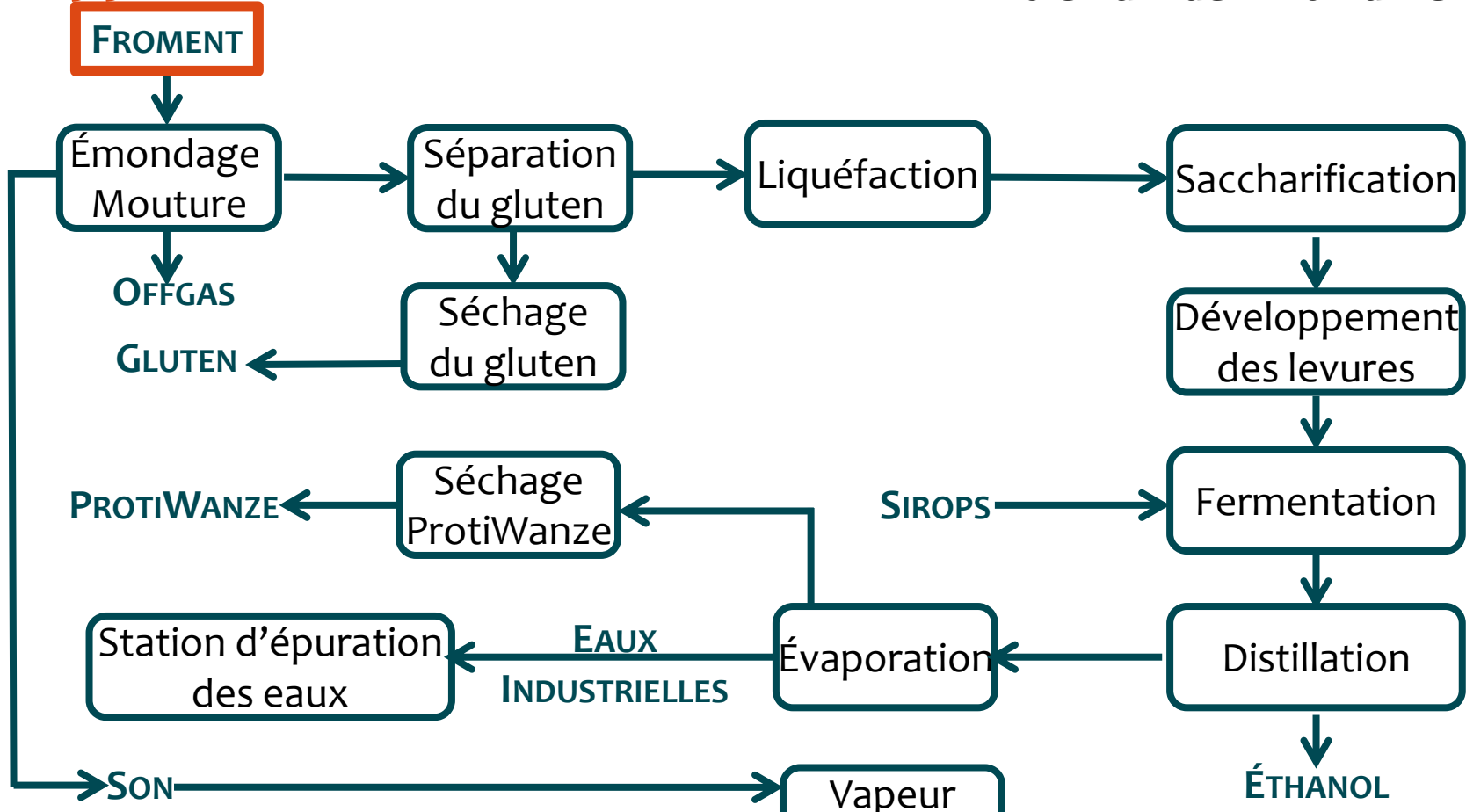
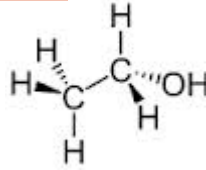
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Voie Humide – BioWanze



CULTURE = ÉTAPE LA PLUS IMPACTANTE POUR LA MAJORITÉ DES CATÉGORIES D'IMPACT

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

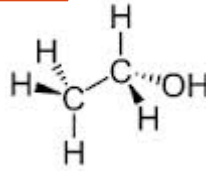
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Caractéristiques du procédé en voie sèche (Dry Milling)

- Données basées sur la littérature
- Utilisation de combustibles fossiles comme apport énergétique
- Coproduits particuliers :
 - Drèches : alimentation animale
- Prise en compte d'une allocation énergétique
 - 62,27% pour le bioéthanol
 - 37,73% pour les drèches



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

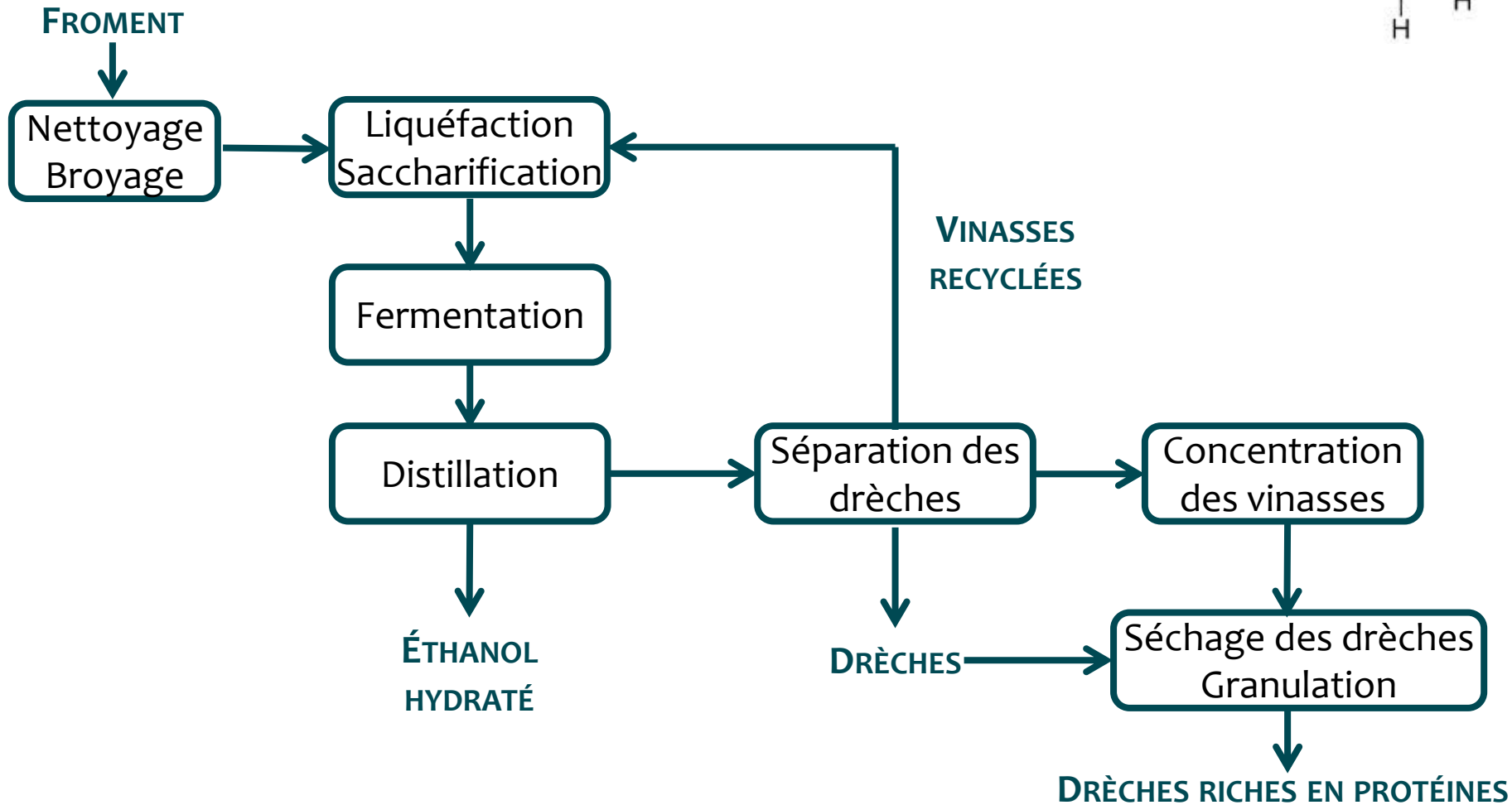
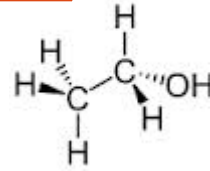
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Voie sèche



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

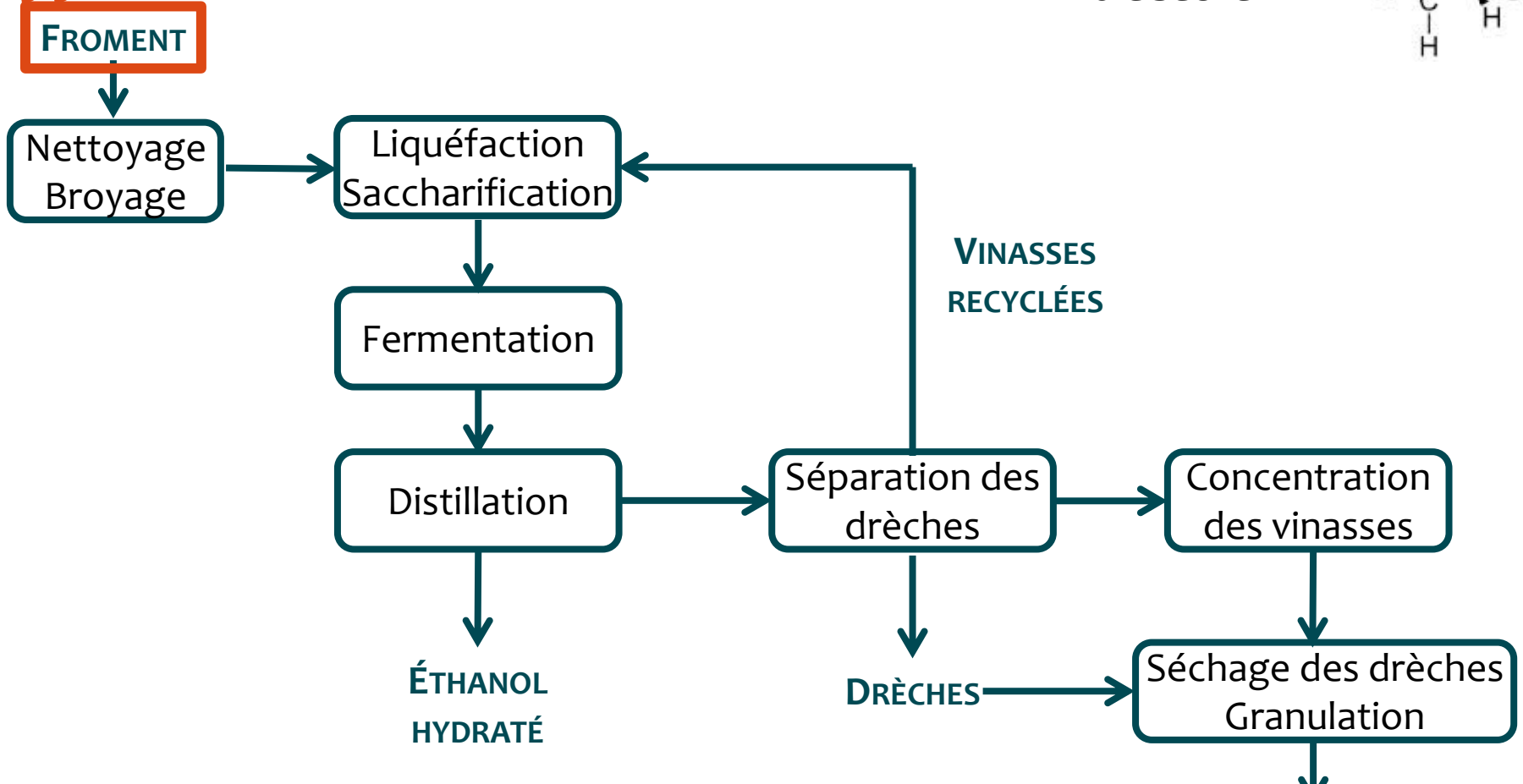
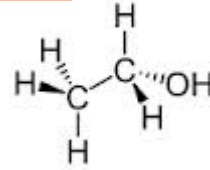
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.3. Sur base froment

Voie sèche



CULTURE = ÉTAPE LA PLUS IMPACTANTE POUR LA MAJORITÉ DES CATÉGORIES D'IMPACT

ES

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

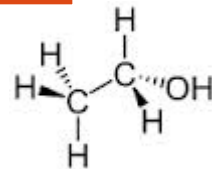
Sur base froment

Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.4. Principaux enseignements

Impact environnemental de la production de 1000 L de bioéthanol hydraté



- Résultats moyens pour les catégories changement climatique et ressources fossiles

Catégorie d'impact	Canne à sucre	Betterave		Froment	
		Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine
Changement climatique (kg _{éq} CO ₂)	483	929	1269	744	1695
Ressources fossiles (kg _{éq} pétrole)	67	294	365	178	414

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

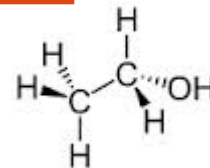
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.4. Principaux enseignements

Impact environnemental de la production de 1000 L de bioéthanol hydraté

- Résultats moyens pour les catégories changement climatique et ressources fossiles



Catégorie d'impact	Canne à sucre	Betterave		Froment	
		Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine
Changement climatique (kg _{éq} CO ₂)	483	929	1269	744	1695
Ressources fossiles (kg _{éq} pétrole)	67	294	365	178	414

Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

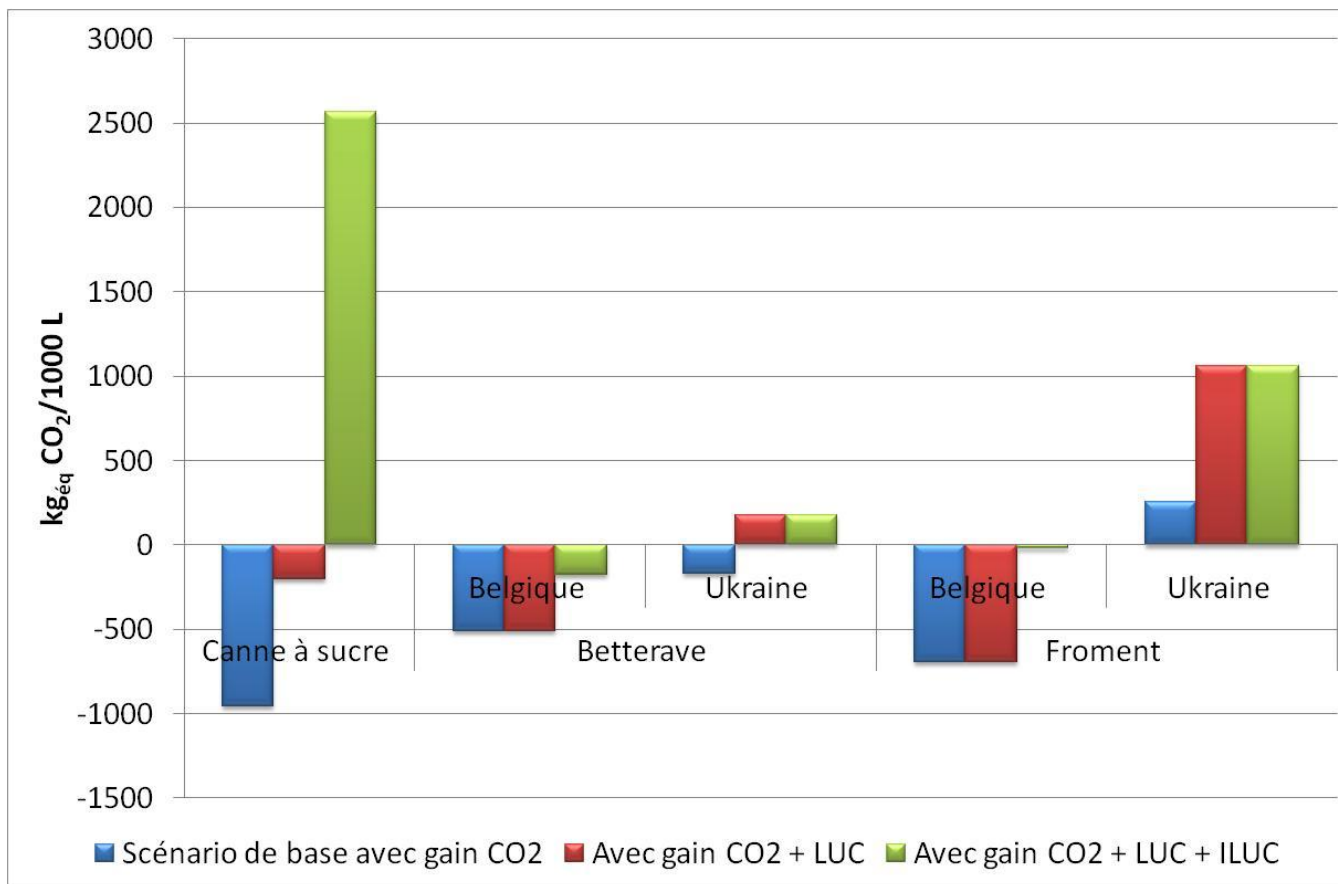
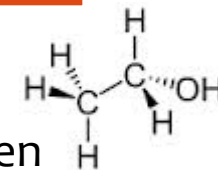
Principaux enseignements

3. Impact de la production de bioéthanol

3.4. Principaux enseignements

Zoom sur la catégorie changement climatique – prise en compte de LUC/ILUC en

$\text{kg}_{\text{éq}} \text{CO}_2$



Sur base canne à sucre

Sur base betterave

Sur base froment

Principaux enseignements

Plan de l'exposé

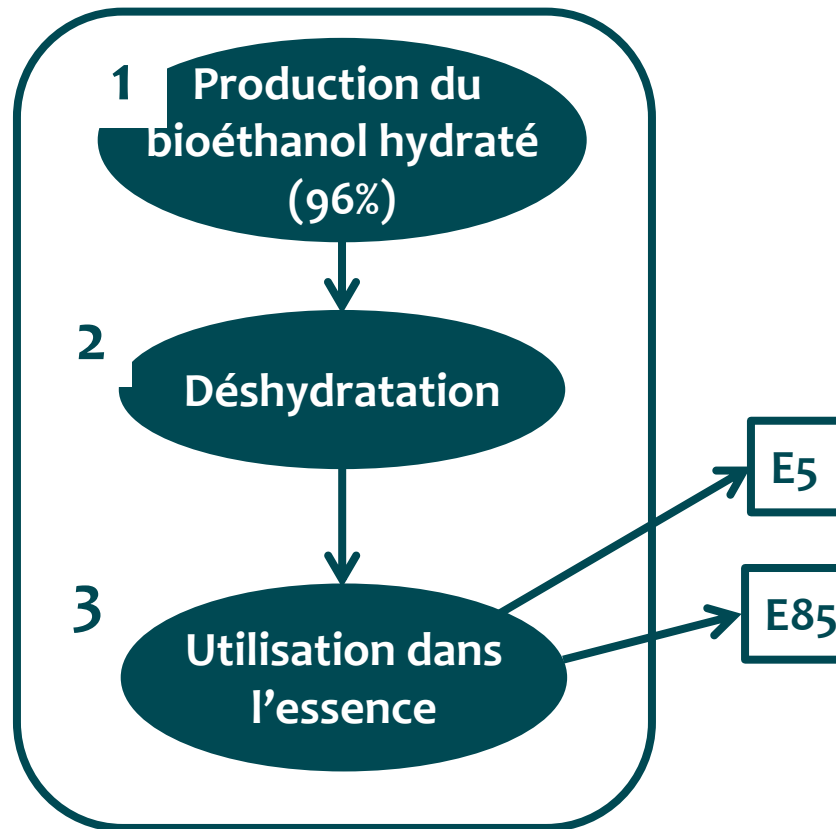
1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
- 4. Les utilisations du bioéthanol**
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
6. Conclusions et perspectives

4. Les utilisations du bioéthanol



4.1. Les biocarburants

Quelles sont les étapes prises en compte?



4. Les utilisations du bioéthanol



4.1. Les biocarburants

Quels sont les scénarios envisagés?

Numéro	Matière première	Lieu de culture	Lieu de production du bioéthanol	Produit transporté
1	Canne à sucre	Brésil	Brésil	Bioéthanol anhydre
2	Betterave	Belgique	Belgique	/
3	Betterave	Ukraine	Ukraine	Bioéthanol anhydre
4	Froment	Belgique	Belgique (Wet)	/
5	Froment	Ukraine	Ukraine (Dry)	Bioéthanol anhydre

4. Les utilisations du bioéthanol



4.1. Les biocarburants

Comment comparer les biocarburants à l'essence?

- Du puits au réservoir pour l'essence
 - De l'extraction du pétrole brut jusqu'au raffinage
- Du champ au réservoir pour le bioéthanol anhydre
 - Production du bioéthanol anhydre (99,7%)
 - Transport jusqu'en Belgique
- Du réservoir à la roue
 - Hypothèse : émissions à l'échappement identiques pour les biocarburants et l'essence
- Sur base énergétique
 - Pouvoir calorifique inférieur (PCI) du bioéthanol anhydre = 21,23 MJ/L
 - Pouvoir calorifique inférieur (PCI) de l'essence = 31,62 MJ/L
 - Augmentation de 1,67% lors de l'utilisation de E5
 - Augmentation de 38,77 % lors de l'utilisation de E85

4. Les utilisations du bioéthanol



4.1. Les biocarburants

Impact environnemental du cycle de vie d'un GJ de bioéthanol anhydre – essence

Catégorie d'impact	Canne à sucre	Betterave		Froment		Essence
		Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine	
Changement climatique (kg _{éq} CO ₂)	43	56	87	41	104	88
Ressources fossiles (kg _{éq} pétrole)	9	18	27	10	28	30
Acidification terrestre (kg _{éq} SO ₂)	0,53	0,26	0,48	0,61	1,35	0,18
Formation de particules (kg _{éq} PM ₁₀)	0,16	0,08	0,15	0,12	0,28	0,05
Eutrophisation d'eau douce (kg _{éq} P)	0,021	0,018	0,044	0,013	0,028	0,003
Toxicité humaine (kg _{éq} 1,4-DB)	4	5	10	5	14	3
Ecotoxicité terrestre (kg _{éq} 1,4-DB)	0,003	0,006	0,009	0,013	0,033	0,007
Ecotoxicité d'eau douce (kg _{éq} 1,4-DB)	0,085	0,076	0,168	0,101	0,249	0,084

4. Les utilisations du bioéthanol



4.1. Les biocarburants

Impact environnemental du cycle de vie d'un GJ de bioéthanol anhydre – essence

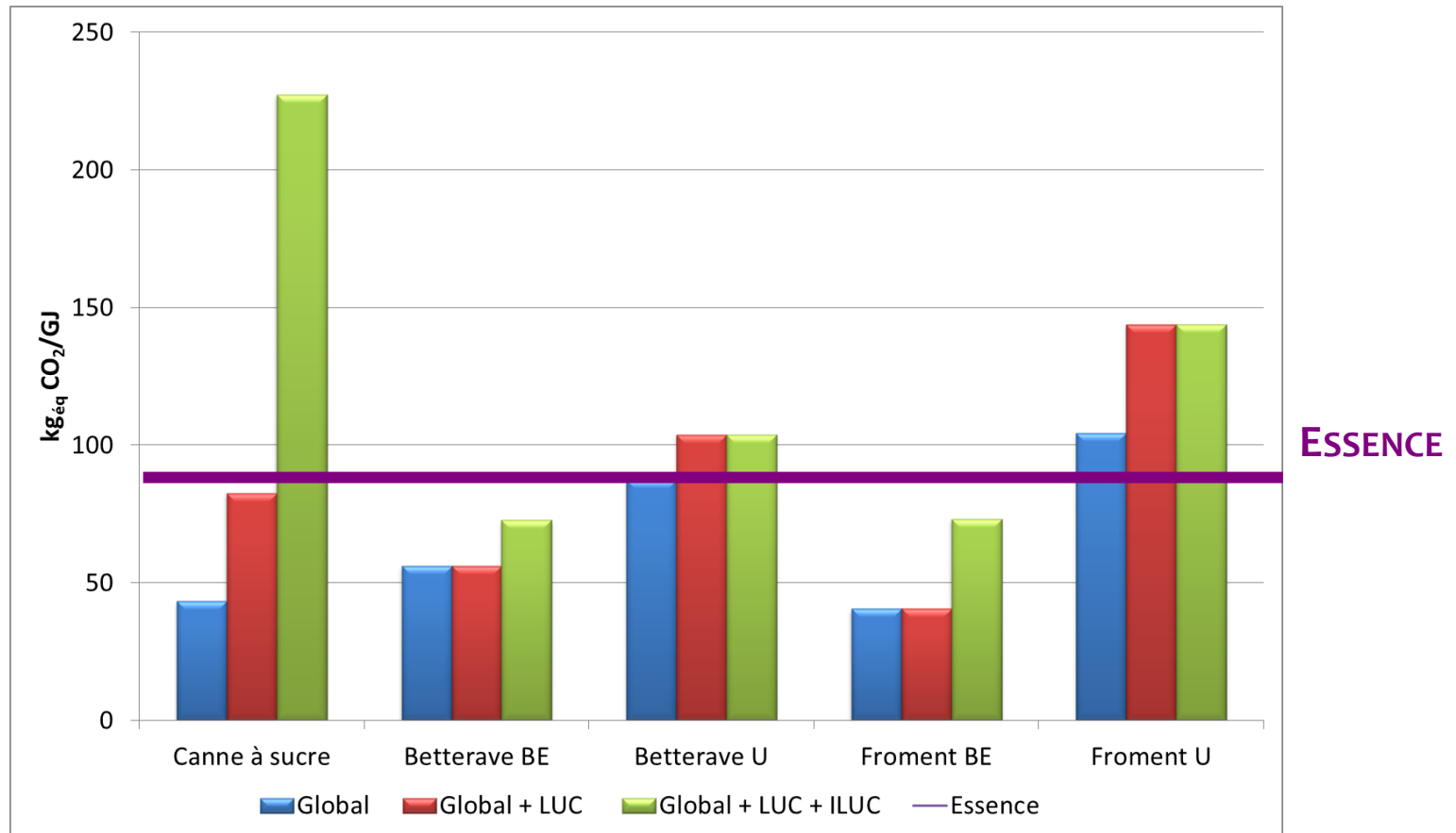
Catégorie d'impact	Canne à sucre	Betterave		Froment		Essence
		Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine	
Changement climatique (kg _{éq} CO ₂)	43	56	87	41	104	88
Ressources fossiles (kg _{éq} pétrole)	9	18	27	10	28	30
Acidification terrestre (kg _{éq} SO ₂)			>			
Formation de particules (kg _{éq} PM ₁₀)			>			
Eutrophisation d'eau douce (kg _{éq} P)			>			Référence
Toxicité humaine (kg _{éq} 1,4-DB)			>			
Ecotoxicité terrestre (kg _{éq} 1,4-DB)	<	<	>	>	>	
Ecotoxicité d'eau douce (kg _{éq} 1,4-DB)	>	<	>	>	>	Référence

4. Les utilisations du bioéthanol



4.1. Les biocarburants

Zoom sur la catégorie changement climatique – prise en compte de LUC/ILUC en $\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2$

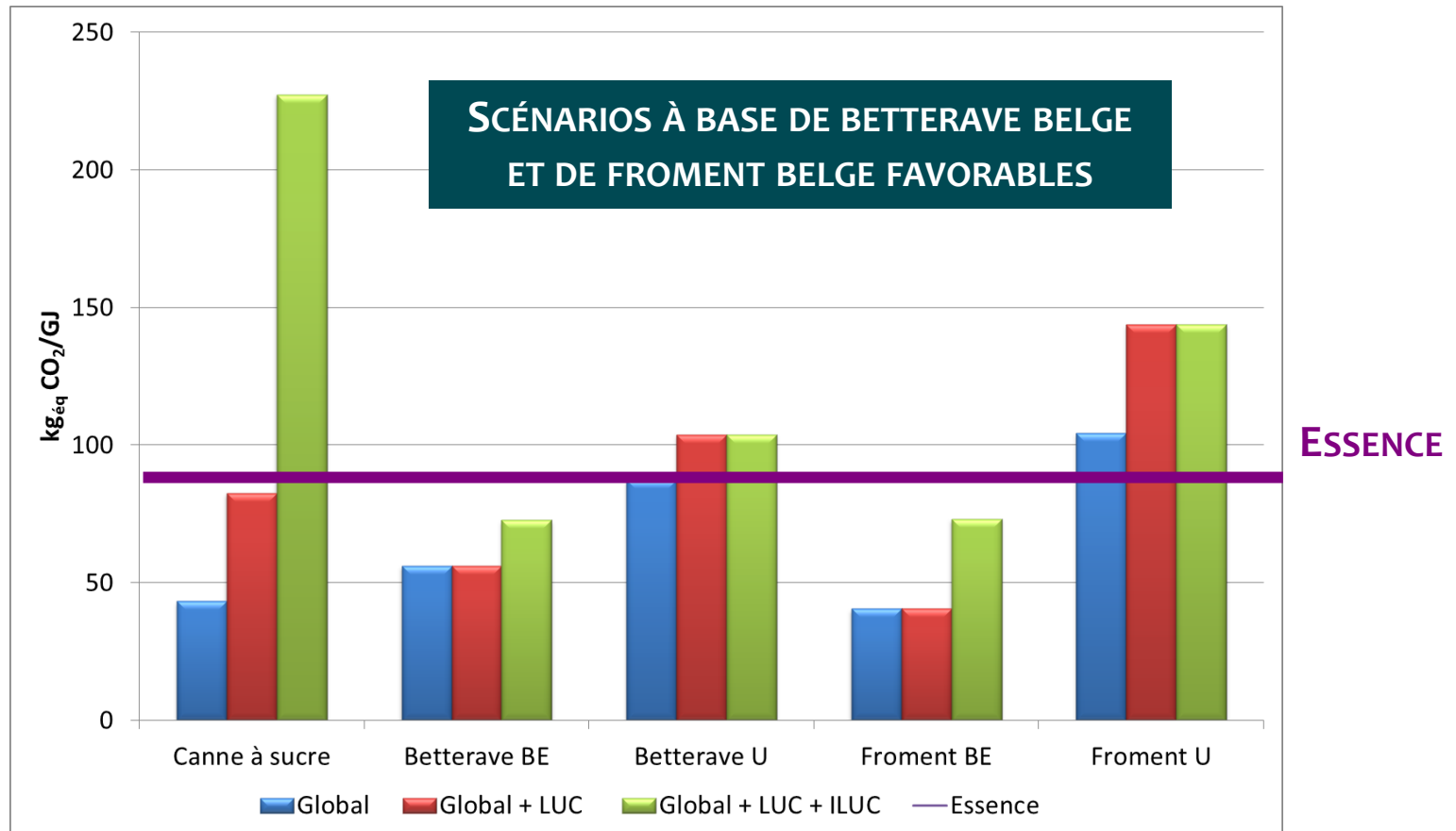


4. Les utilisations du bioéthanol



4.1. Les biocarburants

Zoom sur la catégorie changement climatique – prise en compte de LUC/ILUC en $\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2$

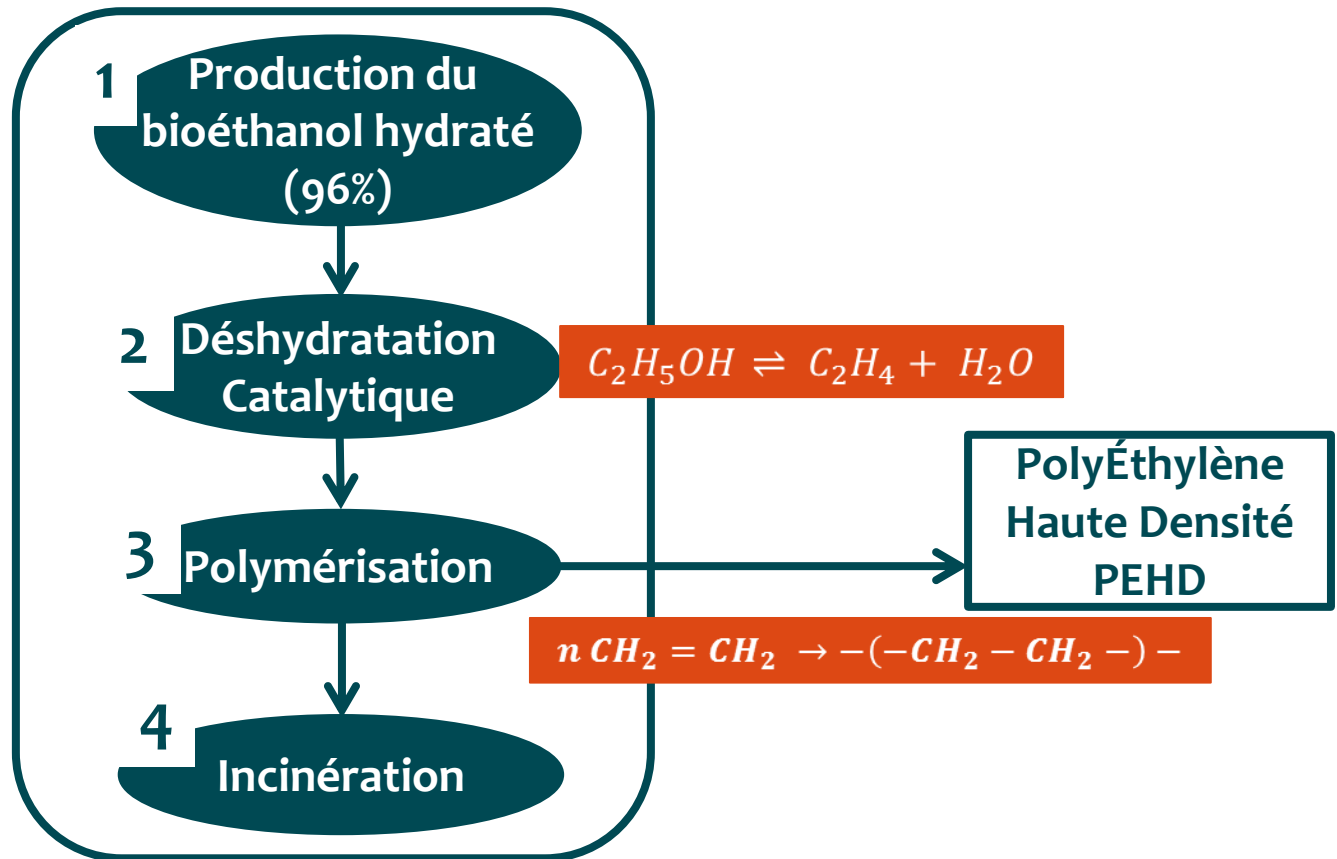


4. Les utilisations du bioéthanol



4.2. Les bioplastiques

Quelles sont les étapes prises en compte?



4. Les utilisations du bioéthanol



4.2. Les bioplastiques

Quels sont les scénarios envisagés?

Numéro	Matière première	Culture	Lieu de production du bioéthanol	Lieu de production du PEHD	Produit transporté
1	Canne à sucre	Brésil	Brésil	Brésil	PEHD
2	Betterave	Belgique	Belgique	Belgique	/
3	Betterave	Ukraine	Ukraine	Ukraine	PEHD
4	Froment	Belgique	Belgique (Wet)	Belgique	/
5	Froment	Ukraine	Ukraine (Dry)	Ukraine	PEHD

4. Les utilisations du bioéthanol



4.2. Les bioplastiques

Comment comparer les bioplastiques aux plastiques d'origine fossile?

- Plastiques d'origine fossile
 - Utilisation de bases de données commerciales
 - Ajout de l'étape d'incinération
- Bioplastiques : ajout des étapes
 - De déshydratation catalytique
 - De polymérisation en PEHD
 - De transport jusqu'en Belgique
 - D'incinération du PEHD
- Sur base massique
 - 1 kg de Bio-PEHD est techniquement équivalent à 1 kg de PEHD d'origine fossile



4. Les utilisations du bioéthanol



4.2. Les bioplastiques

Impact environnemental du cycle de vie d'une tonne de Bio-PEHD – PEHD

Catégorie d'impact	Canne à sucre	Betterave		Froment		PEHD fossile
		Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine	
Changement climatique (kg _{éq} CO ₂)	1836	2979	4375	2538	5395	5088
Ressources fossiles (kg _{éq} pétrole)	386	959	1306	684	1424	1595
Acidification terrestre (kg _{éq} SO ₂)	20,4	10,3	21,8	30,5	65,4	6,2
Formation de particules (kg _{éq} PM ₁₀)	5,4	3,2	6,5	6,3	13,5	2,1
Eutrophisation d'eau douce (kg _{éq} P)	1,00	1,07	2,30	0,82	1,54	0,03
Toxicité humaine (kg _{éq} 1,4-DB)	571	674	895	769	1123	330
Ecotoxicité terrestre (kg _{éq} 1,4-DB)	0,17	0,20	0,33	0,74	1,56	0,02
Ecotoxicité d'eau douce (kg _{éq} 1,4-DB)	43	45	49	47	53	39

4. Les utilisations du bioéthanol



4.2. Les bioplastiques

Impact environnemental du cycle de vie d'une tonne de Bio-PEHD – PEHD

Catégorie d'impact	Canne à sucre	Betterave		Froment		PEHD fossile
		Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine	
Changement climatique (kg _{éq} CO ₂)	1836	2979	4375	2538	5395	5088
Ressources fossiles (kg _{éq} pétrole)	386	959	1306	684	1424	1595
Acidification terrestre (kg _{éq} SO ₂)			>			
Formation de particules (kg _{éq} PM ₁₀)			>			
Eutrophisation d'eau douce (kg _{éq} P)			>			
Toxicité humaine (kg _{éq} 1,4-DB)			>			
Ecotoxicité terrestre (kg _{éq} 1,4-DB)			>			
Ecotoxicité d'eau douce (kg _{éq} 1,4-DB)			>			

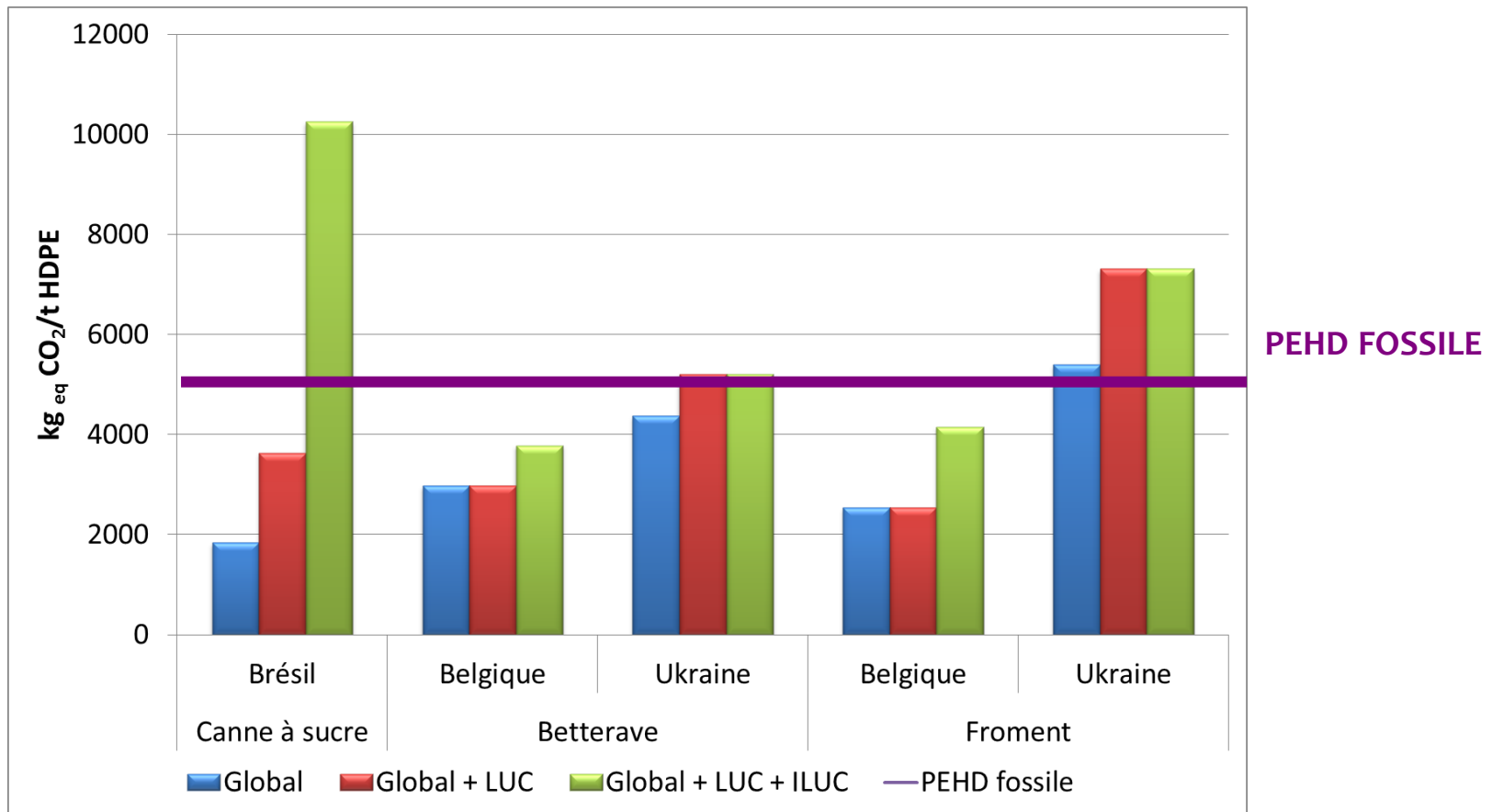
Référence

4. Les utilisations du bioéthanol



4.2. Les bioplastiques

Zoom sur la catégorie changement climatique – prise en compte de LUC/ILUC en $\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2$

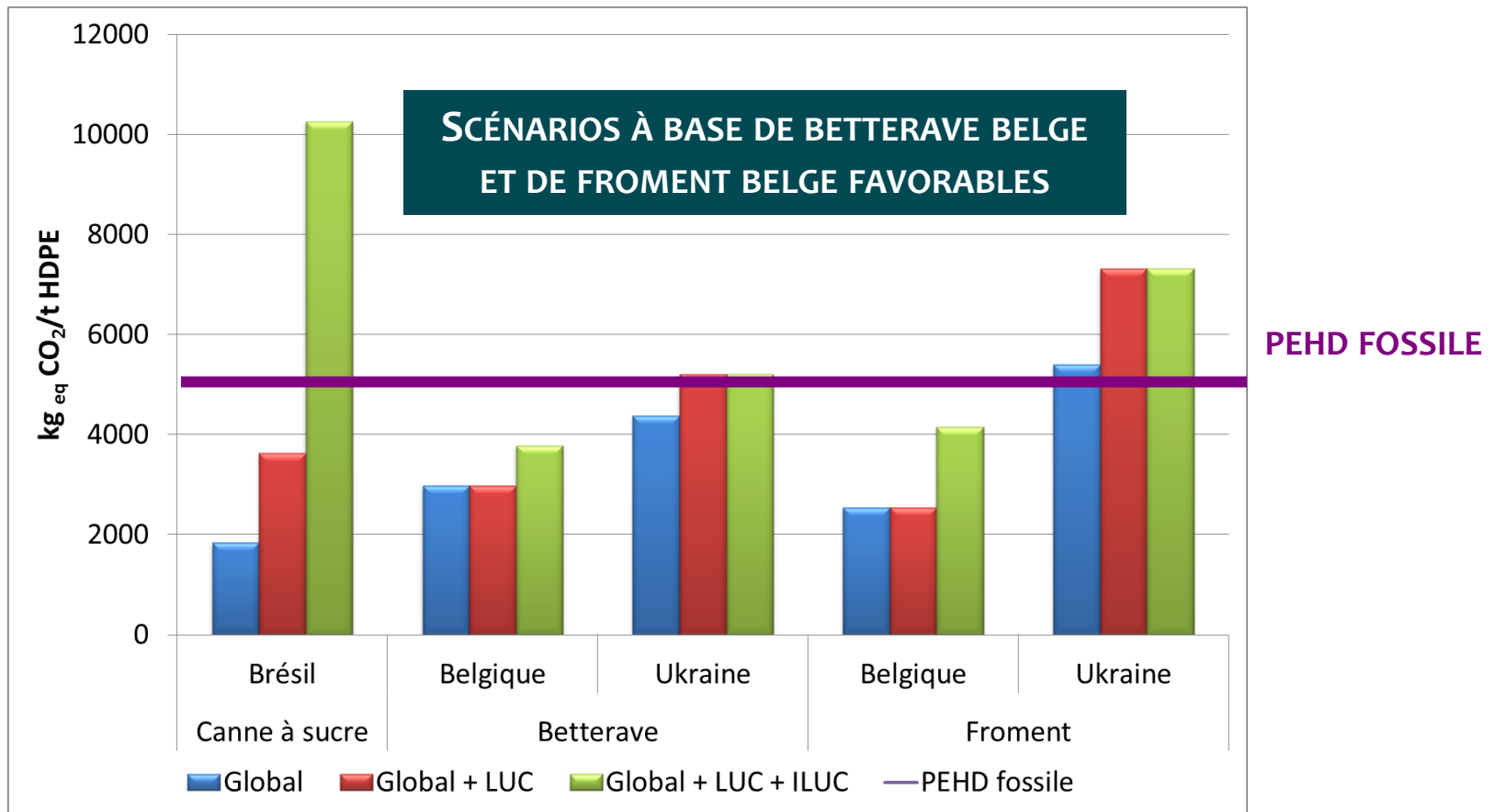


4. Les utilisations du bioéthanol



4.2. Les bioplastiques

Zoom sur la catégorie changement climatique – prise en compte de LUC/ILUC en $\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2$



Plan de l'exposé

1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
4. Les utilisations du bioéthanol
- 5. Comparaison des utilisations du bioéthanol**
6. Conclusions et perspectives

Efficacité d'utilisation
des sols

Gain par hectare – Changement
climatique

Temps de retour

5. Comparaison des utilisations du bioéthanol

5.1. Efficacité d'utilisation des sols

Caractéristique	Canne à sucre	Betterave		Froment	
	Brésil	Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine
Rendement (t/ha)	71,19	73	30	8,6	2,9
Matière première pour 1000 L de bioéthanol hydraté (t)	12,5	10	10	2,8 (Wet)	2,7 (Dry)
Quantité de bioéthanol anhydre (L/ha)	5438	6970	2864	2933	1026
Quantité de bio PEHD produite (t/ha)	2,38	3,05	1,25	1,28	0,45

Efficacité d'utilisation des sols

Gain par hectare – Changement climatique

Temps de retour

5. Comparaison des utilisations du bioéthanol

5.1. Efficacité d'utilisation des sols

Caractéristique	Canne à sucre	Betterave		Froment	
	Brésil	Belgique	Ukraine	Belgique	Ukraine
Rendement (t/ha)	71,19	73	30	8,6	2,9
Matière première pour 1000 L de bioéthanol hydraté (t)	12,5	10	10	2,8 (Wet)	2,7 (Dry)
Quantité de bioéthanol anhydre (L/ha)	5438	6970	2864	2933	1026
Quantité de bio PEHD produite (t/ha)	2,38	3,05	1,25	1,28	0,45

Efficacité d'utilisation des sols

Gain par hectare – Changement climatique

Temps de retour

5. Comparaison des utilisations du bioéthanol

5.2. Gain par hectare – changement climatique – scénario de base

- Pour les biocarburants

$$Gain_{1 MJ} = Impact_{Esence (1 MJ)} - Impact_{Biocarburant (1 MJ)}$$

$$Gain_{1 ha} = Gain_{1 MJ} \times MJ_{biocarburant/ha}$$

- Pour les bioplastiques

$$Gain_{1 t Bio-PEHD} = Impact_{PEHD (1 t)} - Impact_{Bio-PEHD (1 t)}$$

$$Gain_{1 ha} = Gain_{1 t Bio-PEHD} \times tonnes_{Bio-PEHD/ha}$$

Matière première	Biocarburant		PEHD	
	Scénario	Gain (t _{éq} CO ₂)	Scénario	Gain (t _{éq} CO ₂)
Canne à sucre	Brésil	5,18	Brésil	7,74
Betterave	Belgique	4,72	Belgique	6,44
Froment	Belgique	2,96	Belgique	3,27

5. Comparaison des utilisations du bioéthanol

5.2. Gain par hectare – changement climatique – scénario de base

- Pour les biocarburants

$$Gain_{1 MJ} = Impact_{Essece (1 MJ)} - Impact_{Biocarburant (1 MJ)}$$

$$Gain_{1 ha} = Gain_{1 MJ} \times MJ_{Biocarburant/ha}$$

- Pour les bioplastiques

$$Gain_{1 t Bio-PEHD} = Impact_{PEHD (1 t)} - Impact_{Bio-PEHD (1 t)}$$

$$Gain_{1 ha} = Gain_{1 t Bio-PEHD} \times tonnes_{Bio-PEHD/ha}$$

Matière première	Biocarburant		PEHD	
	Scénario	Gain (t _{éq} CO ₂)	Scénario	Gain (t _{éq} CO ₂)
Canne à sucre	Brésil	5,18	Brésil	7,74
Betterave	Belgique	4,72	Belgique	6,44
Froment	Belgique	2,96	Belgique	3,27

Efficacité d'utilisation des sols

Gain par hectare – Changement climatique

Temps de retour

5. Comparaison des utilisations du bioéthanol

5.3. Temps de retour

- Temps de retour = temps nécessaire pour obtenir à nouveau un gain environnemental suite au changement direct ou indirect d'affectation des sols

Matière première	Biocarburant		PEHD	
	Scénario	Temps de retour (années)	Scénario	Temps de retour (années)
Canne à sucre	LUC	18	LUC	11,7
	LUC + ILUC	82	LUC + ILUC	54,6
Betterave	ILUC (Belgique)	10	ILUC (Belgique)	8,3
Froment	ILUC (Belgique)	14	ILUC (Belgique)	13,6

Efficacité d'utilisation des sols

Gain par hectare – Changement climatique

Temps de retour

5. Comparaison des utilisations du bioéthanol

5.3. Temps de retour

- Temps de retour = temps nécessaire pour obtenir à nouveau un gain environnemental suite au changement direct ou indirect d'affectation des sols

Matière première	Biocarburant		PEHD	
	Scénario	Temps de retour (années)	Scénario	Temps de retour (années)
Canne à sucre	LUC	18	LUC	11,7
	LUC + ILUC	82	LUC + ILUC	54,6
Betterave	ILUC (Belgique)	10	ILUC (Belgique)	8,3
Froment	ILUC (Belgique)	14	ILUC (Belgique)	13,6

Efficacité d'utilisation des sols

Gain par hectare – Changement climatique

Temps de retour

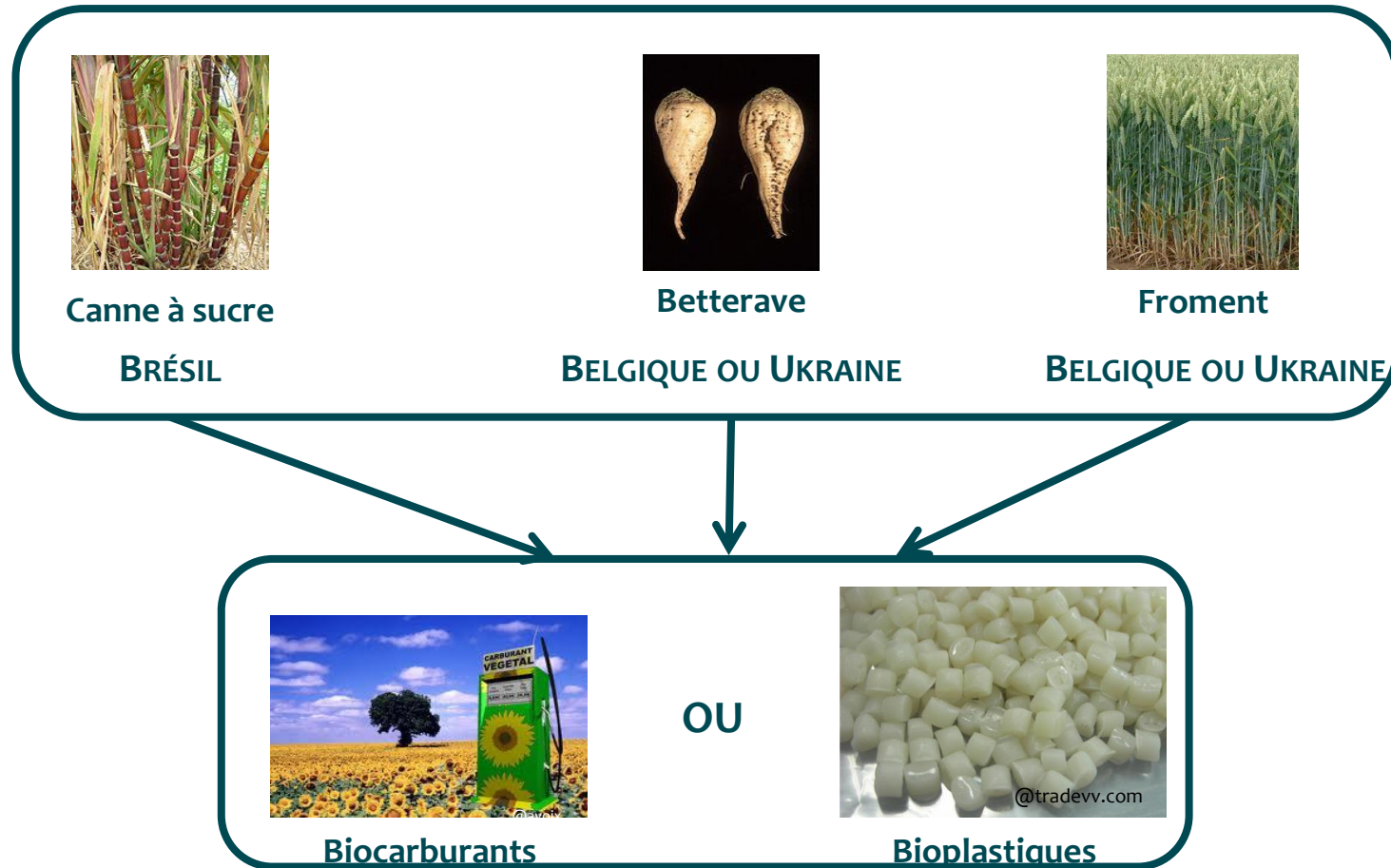
Plan de l'exposé

1. Introduction générale
2. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie
3. Impact de la production de bioéthanol hydraté
4. Les utilisations du bioéthanol
5. Comparaison des utilisations du bioéthanol
- 6. Conclusions et perspectives**

6. Conclusions et perspectives



A. Remplacer des produits d'origine fossile par des équivalents produits à partir de bioéthanol réduit-il les émissions de gaz à effet de serre?



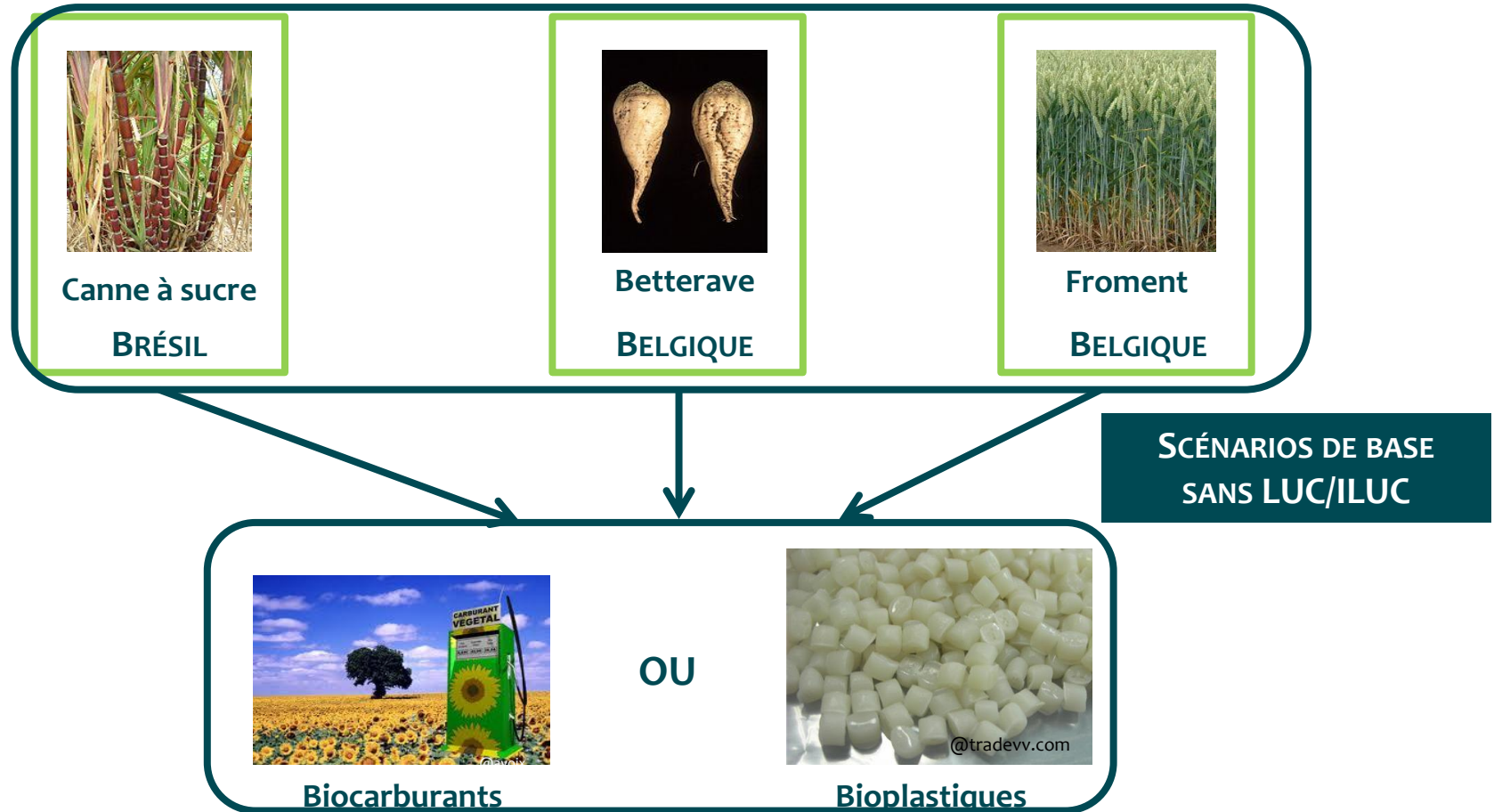
Conclusions

Perspectives

6. Conclusions et perspectives



A. Remplacer des produits d'origine fossile par des équivalents produits à partir de bioéthanol réduit-il les émissions de gaz à effet de serre?



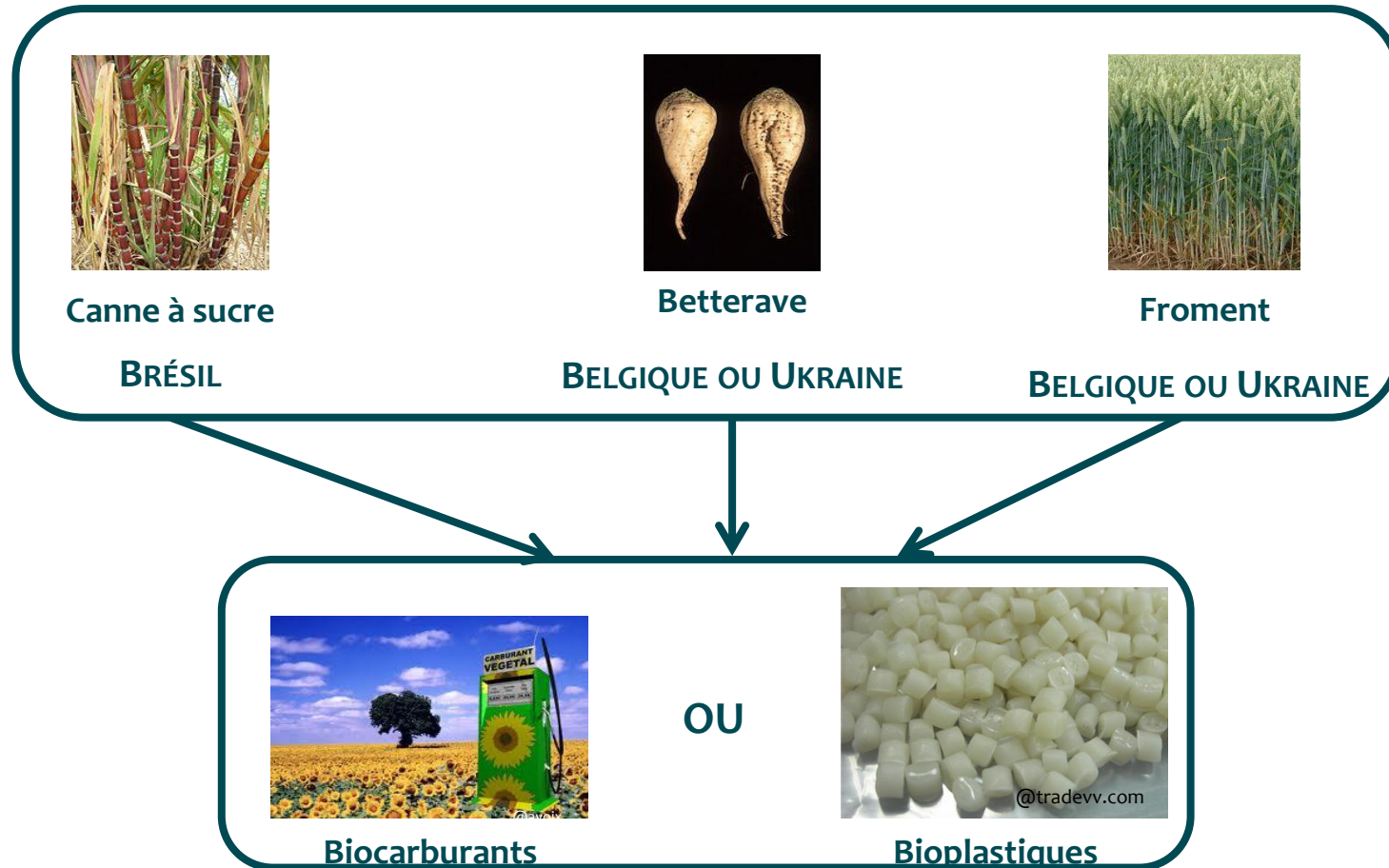
Conclusions

Perspectives

6. Conclusions et perspectives



B. Quelle est l'influence de l'extension des cultures énergétiques?



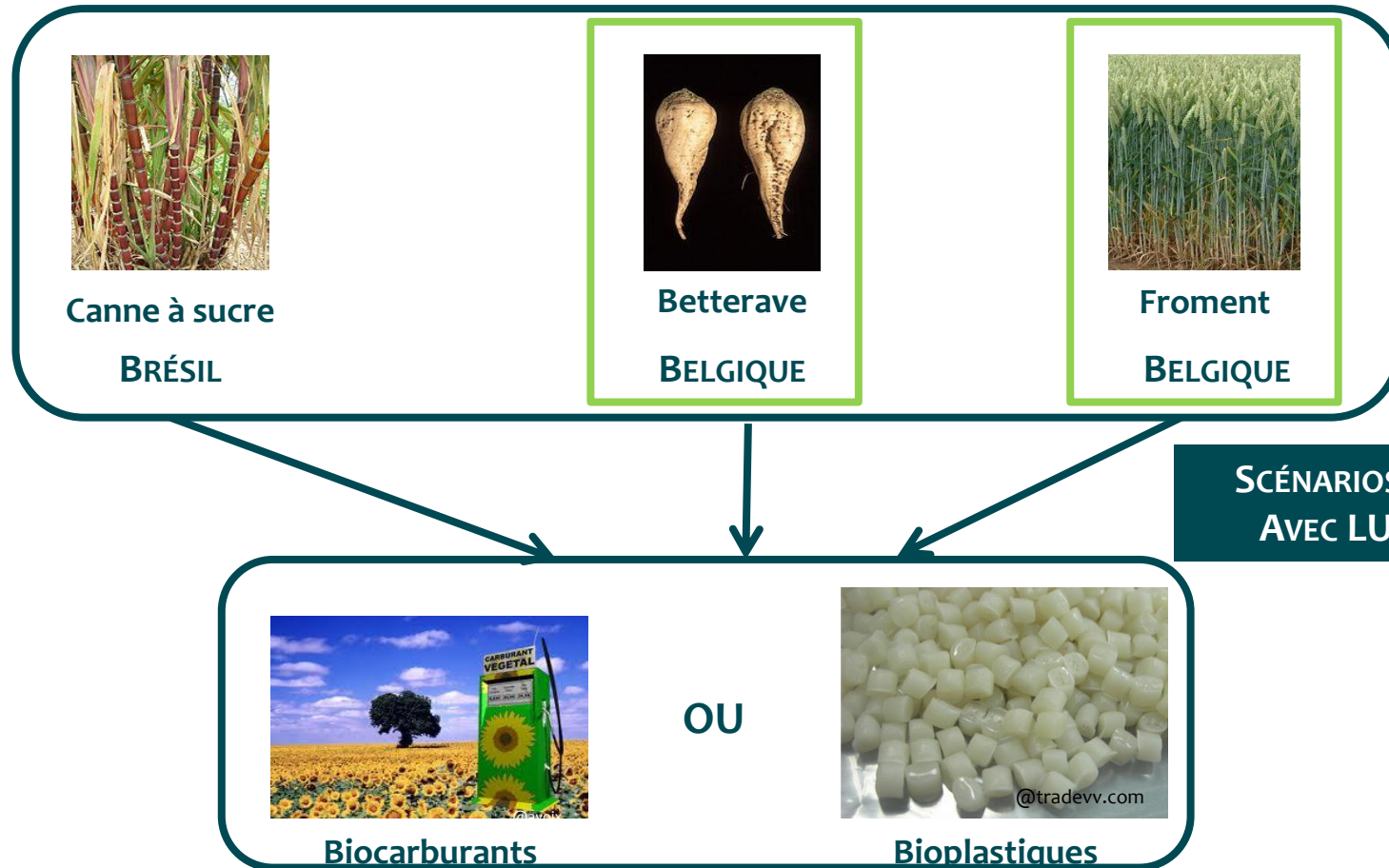
Conclusions

Perspectives

6. Conclusions et perspectives



B. Quelle est l'influence de l'extension des cultures énergétiques?



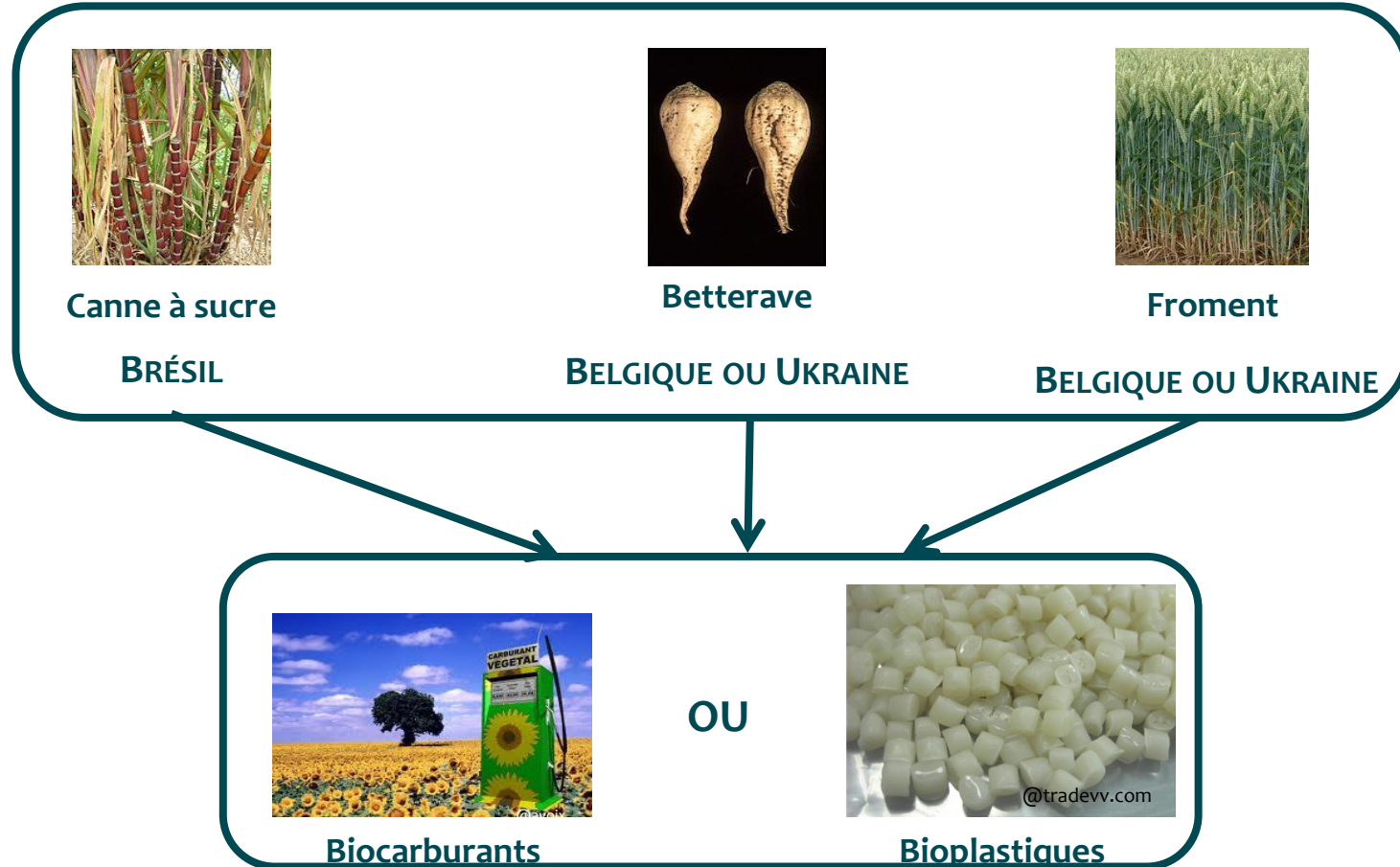
Conclusions

Perspectives

6. Conclusions et perspectives



C. Quelle est la meilleure utilisation du bioéthanol au point de vue environnemental?



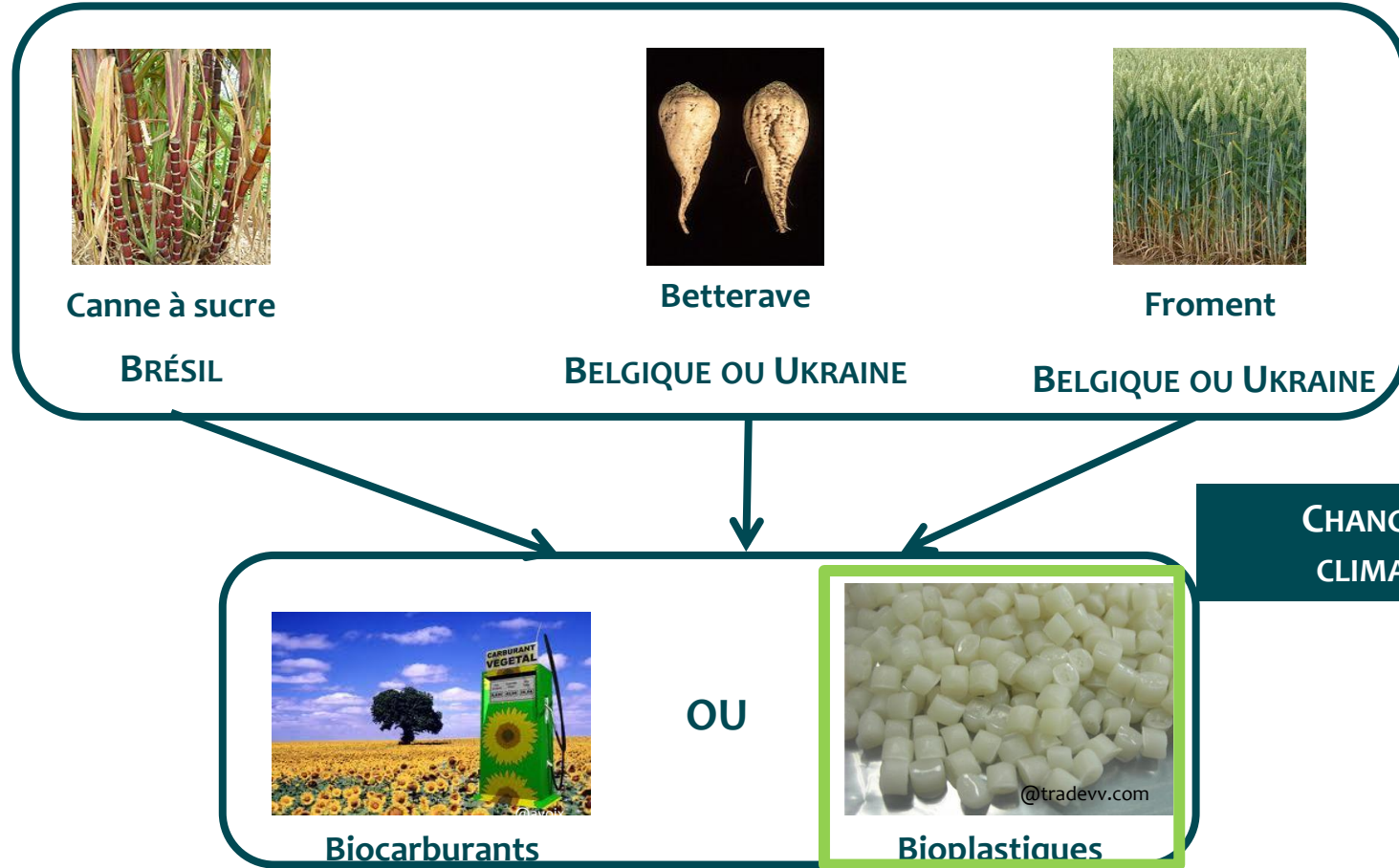
Conclusions

Perspectives

6. Conclusions et perspectives



C. Quelle est la meilleure utilisation du bioéthanol au point de vue environnemental?



Conclusions

Perspectives

6. Conclusions et perspectives

6.2. Perspectives

- Utilisation de l'approche conséquentielle (situation B)
 - Étude des conséquences globales
 - Pour les raffineries
 - Sur le marché de l'essence
 - Sur le marché des plastiques
- Utilisation d'autres matières premières
 - Première génération : maïs, jatropha, etc.
 - Seconde génération : résidus agricoles
 - Troisième génération : algues
- Adaptation de l'étude en fonction des challenges de l'ACV
- Évaluation des impacts sociaux et économiques de la production de biocarburants et de bioplastiques

Merci pour votre attention

LABORATOIRE DE GÉNIE CHIMIQUE

Procédés et développement durable

Sandra Belboom

LG₊C CHEMICAL
ENGINEERING

