

Analyses de Cycles de Vie (ACV) et filières agricoles

Caroline Godard, Agro-Transfert Ressources et Territoires
c.godard@agro-transfert-rt.org

18 janvier 2011 – UTC

Plan

- 1 - Qu'est-ce qu'une ACV ?
- 2 – La méthode ACV : les grandes lignes à partir d'un exemple de filière végétale
- 3 – Réaliser une ACV sur l'ensemble d'un produit, d'une filière végétal(e) : les spécificités de la production et des territoires agricoles

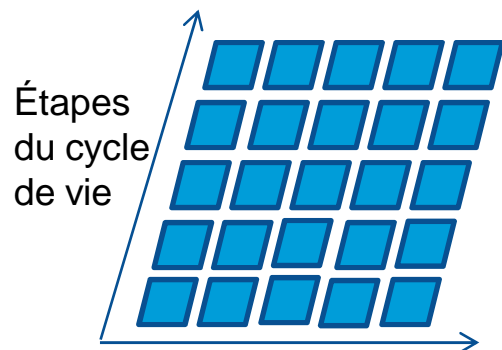
Définition d'une ACV

- « L'ACV est un **outil d'évaluation** des impacts environnementaux sur l'environnement incluant l'ensemble des activités liées à un produit ou à un service **depuis** l'extraction des matières premières **jusqu'au** dépôt et traitement des déchets » (ISO 14040)
-
- ⇒ Outil d'aide à la décision
 - ⇒ Du berceau à la tombe
 - ⇒ Flux entrants et sortants (= intrants et extrants)
 - ⇒ Impacts environnementaux potentiels i.e. liés à une fonction (du produit, du service ou procédé)

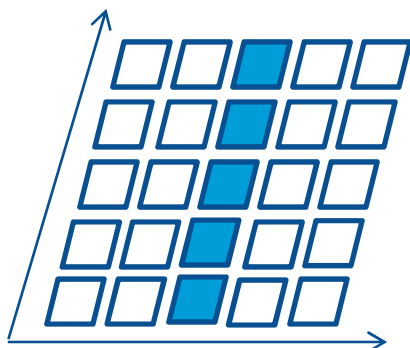
L'ACV, un OAD pour quoi faire ?

- **Identifier** les principales sources d'impacts environnementaux
- **Arbitrer** les déplacements de pollution liés à des alternatives envisagées
- Dans le but de/d'...
 - **Améliorer** les performances environnementales d'un produit
 - **Inform**er les décideurs industriels, organismes gouvernementaux/ non gouvernementaux (planification stratégique, établissement de priorités, conception de produits/procédés)
 - **Choisir** des indicateurs de performance environnementale pertinents
 - **Faire du marketing** (étiquetage écologique, déclaration environnementale, ...)

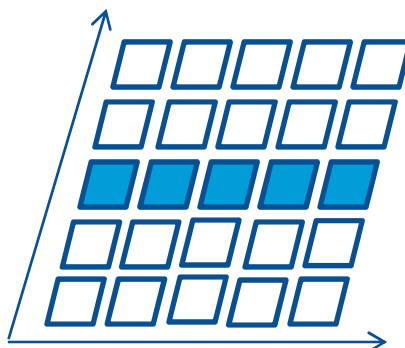
L'ACV un outil d'évaluation multicritère



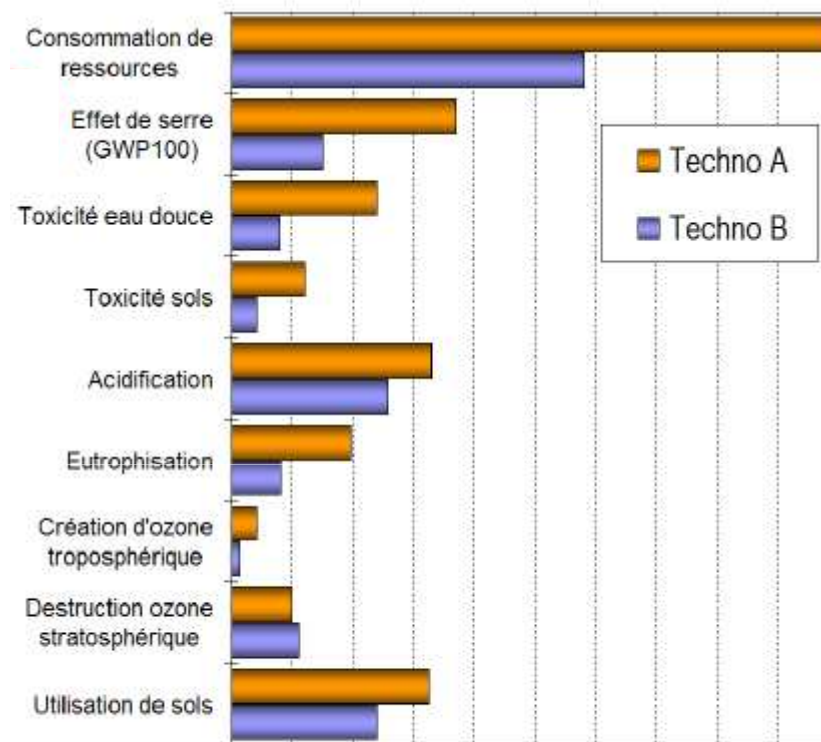
Critères
environnementaux
Ex : ACV



Ex : Bilan Carbone®

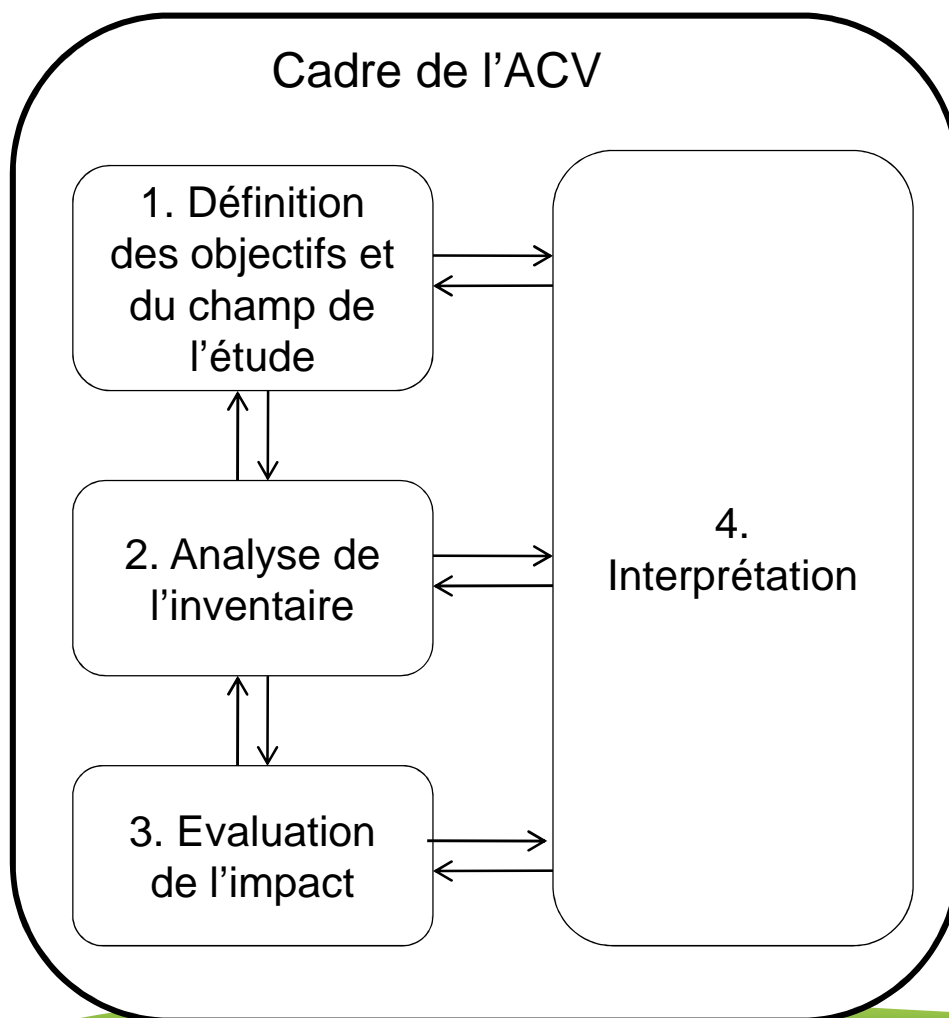


Ex : Analyse de risque



Le cadre général de l'ACV

- ACV : cadre normé (ISO 14040 et ISO 14044, 2006)



ACV = approche itérative

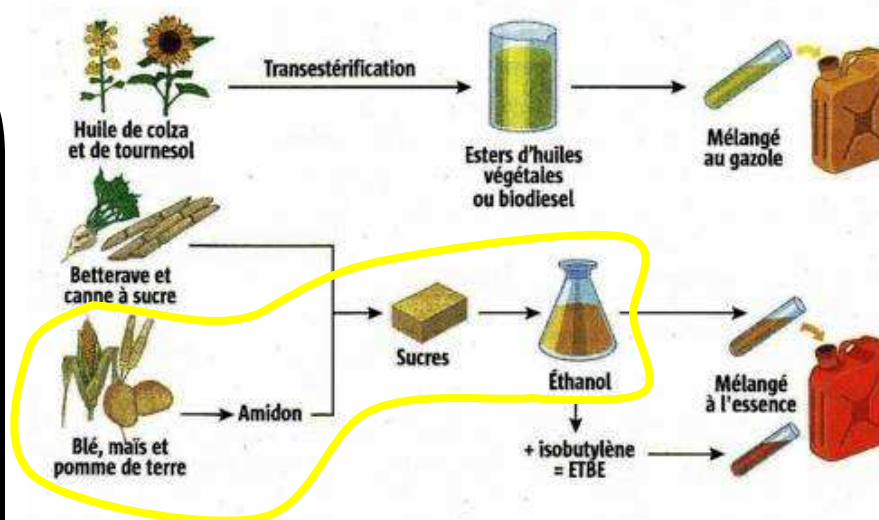
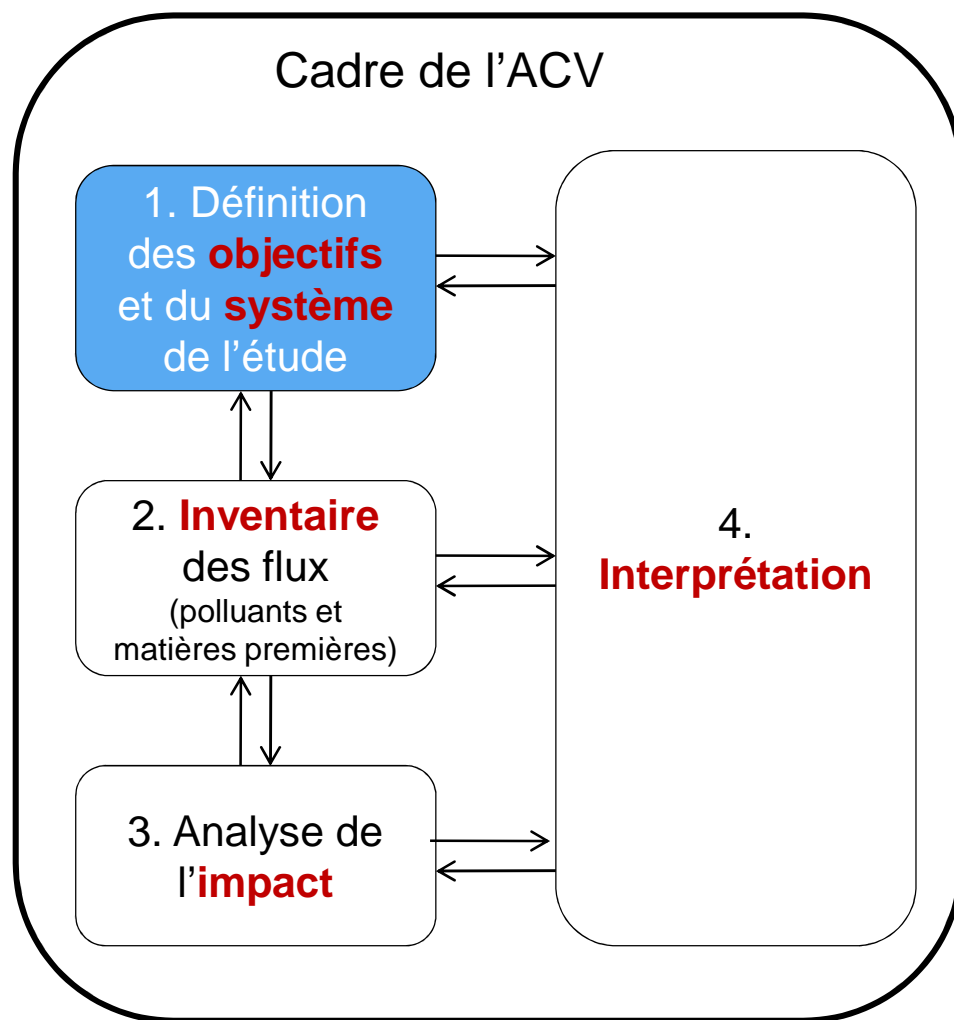
5. Applications :

- Propositions d'améliorations
- Planification stratégique
- Politique publique
- Marketing
- ...

NB : Les applications ne rentrent pas dans le champ d'application des normes

D'après ISO

La méthode ACV appliquée à la filière bioéthanol de blé avec valorisation énergétique des pailles



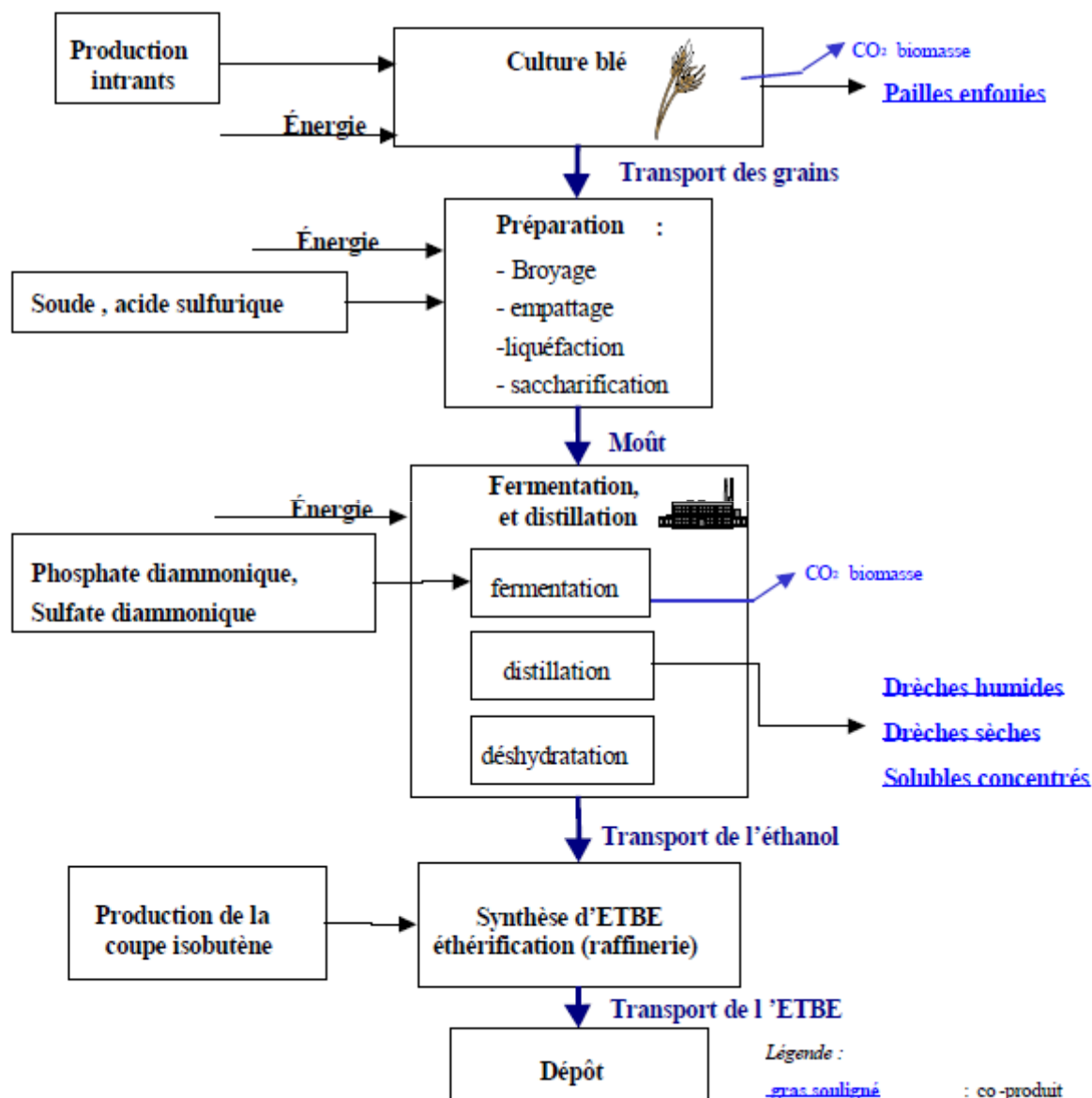
Exemple issu d'une étude INRA - ADEME

Références :

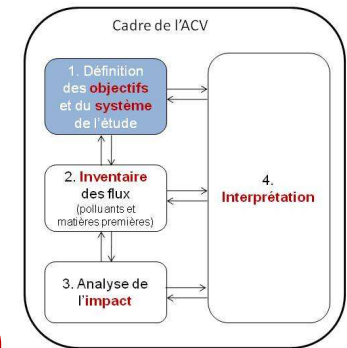
•Gagnaire et al., 2006, *Une approche économique, énergétique et environnementale du gisement et de la collecte des pailles et d'une utilisation pour les filières éthanol*, rapport INRA-ADEME, 88 p.

•Gabrielle, B., & Gagnaire, N. Life-cycle assessment of straw use in bio-ethanol production: a case-study based on deterministic modelling , *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32, 431-441.

La filière bioéthanol de blé



Définition des objectifs (1)

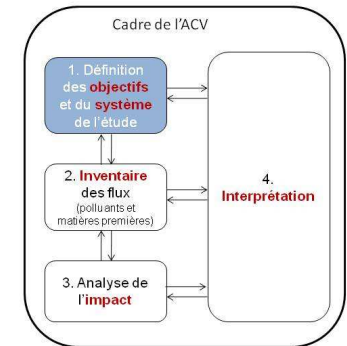


« l'objectif d'une ACV doit indiquer sans ambiguïté l'**application** envisagée, les **raisons** conduisant à réaliser l'étude et le **public concerné**, c-à-d les personnes auxquelles il est envisagé de communiquer les résultats de l'étude » (ISO 14040)

Cas de l'étude « filière bioéthanol-paille INRA-ADEME »

- **Application envisagée** : Etude comparative d'une filière bioéthanol de blé utilisant 2 ressources énergétiques : « pailles » et/ou fossile (gaz naturel)
- **Raisons** : Identification du potentiel d'utilisation de la paille dans la filière bioéthanol et identification de la contribution de la production agricole aux impacts environnementaux de la filière
- **Public concerné** : Appui d'un institut de recherche (INRA) aux décideurs/pouvoirs publics (ADEME, ministères...)
- **Les résultats sont-ils destinés à un « public externe »** ? Si oui : exécutant et réviseur (revue critique) indépendants

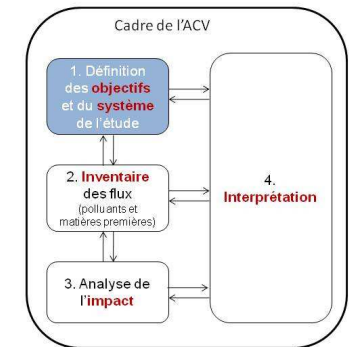
Définition des objectifs (2)



- Grands types d'objectifs :
 - Évaluer une filière de production ⇒ informer sur un produit existant
 - Comparer des alternatives de production ⇒ Éco-conception / comparaison avec un standard
 - Définir des priorités ⇒ Développement d'un nouveau produit
- Les objectifs selon le public :
 - Consommateur : ex : impact du produit
 - Fabricant : ex : réduire sa pollution, maîtriser ses dépenses énergétiques et d'eau, communiquer
 - Gouvernement/ pouvoirs publics : ex : information, scénarios pour établir une réglementation
- Importance de cette étape pour :
 - Identifier les acteurs de l'étude
 - Cadrer le champ de l'étude (définition du système étudié)
 - Identifier quelle question précise on se pose pour y apporter une réponse pertinente

Définition de l'unité fonctionnelle = UF

- Quantifier la fonction du système = le service rendu
- Tous les flux sont ramenés à l'UF
- Doit permettre la comparaison entre différents scénarios des résultats ACV
- L'UF doit être quantitative et additive



Hiérarchiser

Fonctions principale et secondaires de quelques produits.

Produit	Fonction principale	Fonctions secondaires
Paire de souliers	Protéger les pieds	Protection intempéries Protection froid Prestance sociale
Restaurant	Servir des repas	Accueil Socialisation Espace chauffé
Porte de voiture	Contribuer à assurer une bonne utilisation de la voiture	Sécurité vol Sécurité en cas d'accident Etanchéité
Pomme de terre	Alimenter la population ou alimenter le bétail ou matière première (amidon)	Maintien des surfaces arables Protection du paysage et de l'environnement

Source : Jolliet et al. Analyse du Cycle de Vie, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2005

NB : plusieurs UF possibles pour couvrir la multifonctionnalité du système étudié

Unité fonctionnelle et flux de référence (1)

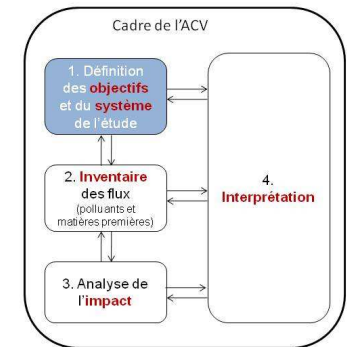
- Flux de référence = quantités de produits nécessaires pour satisfaire l'unité fonctionnelle

Comparaison de scénarios : même UF

Pour chaque scénario : un flux de référence

Exemples d'unités fonctionnelles et de flux de référence pour différents services.

Produit ou système	Unité fonctionnelle (le service offert)	Flux de référence (ce qui est acheté)	Paramètre clé: rapport flux de référence – unité fonctionnelle
Soulier	1 paire de souliers en état fonctionnel pendant 1 an	0,5 paire de souliers haute qualité (2 ans)	Durée de vie du soulier
		2 paires de souliers basse qualité (0,5 an)	
Sèche-mains	1 paire de mains séchées	1,5 serviette	Nombre de serviettes par séchage
		1/50 000 support pour serviette papier	
		1800 W pendant 30 s. 1/50 000 sèche-mains électrique	Puissance du séchoir et durée d'utilisation par séchage
Peinture	100 m ² du mur peint pendant 20 ans	30 kg de peinture longue durée (20 ans)	Quantité appliquée au m ²
		2.25 kg peinture courte durée (10 ans, 2 applications)	Durée de vie de la peinture

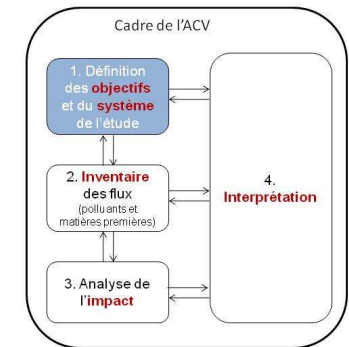


L'optimisation du système est fortement dépendante de ces paramètres :

- Durée de vie
- Nb de réutilisations possibles
- Quantité de matière utilisée...

Unité fonctionnelle et flux de référence (2)

- Cas de la filière bioéthanol avec valorisation énergétique des pailles :
- **UF** : 1 L d'éthanol produit à partir de blé
- **Flux de référence** : Quantités de blé et d'énergie nécessaires à la production d'un litre d'éthanol : 2 scénarios possible :
 - Source d'énergie = gaz naturel seul
 - Source d'énergie = pailles de blé remplaçant partiellement le gaz naturel

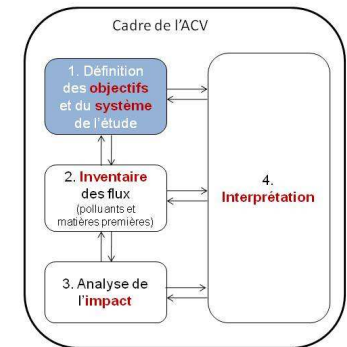


Quantités d'énergie mobilisées par l'usine de production d'éthanol, par litre d'éthanol produit, dans les 2 systèmes étudiés (consommations en volumes par source d'énergie, et en énergie primaire)

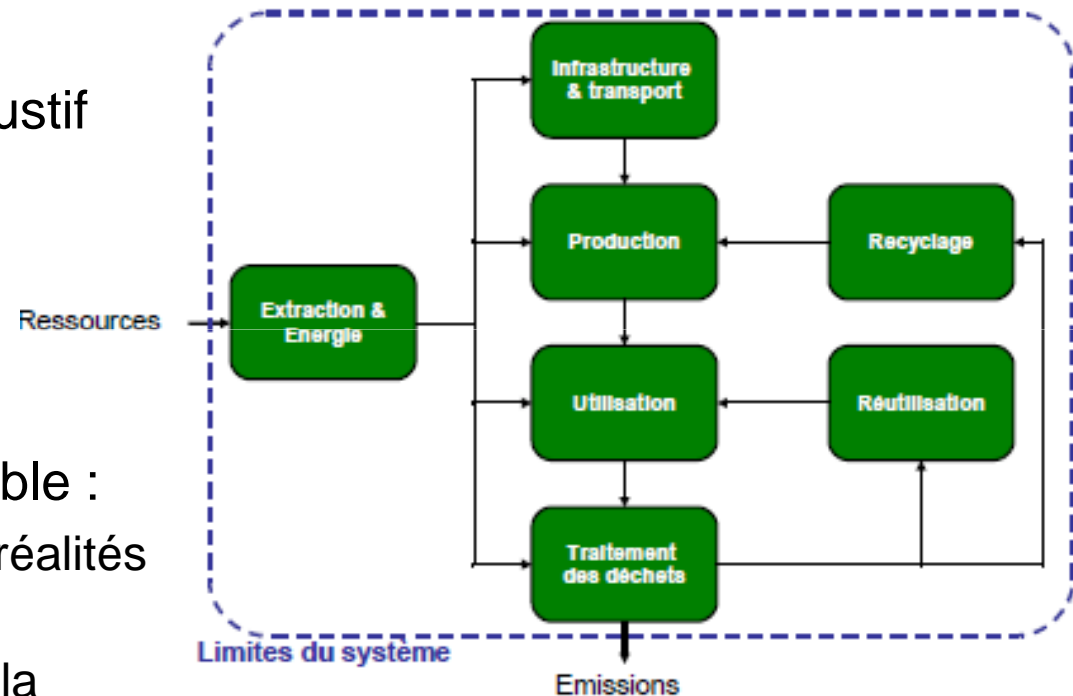
Type d'énergie	S1	S2	S1 / Energie primaire MJ		S2 / Energie primaire MJ	
				Dont non- renouvelable		Dont non- renouvelable
Gaz naturel (Nm ³)	0,16	0,09	6,4	6,4	3,6	3,6
Electricité auto- produite (kWh)	0,94	0,94				
Pailles (kg)	0	0,21	0		3,2	
Total			6,4	6,4	6,8	3,6

Source : Gagnaire et al., 2006

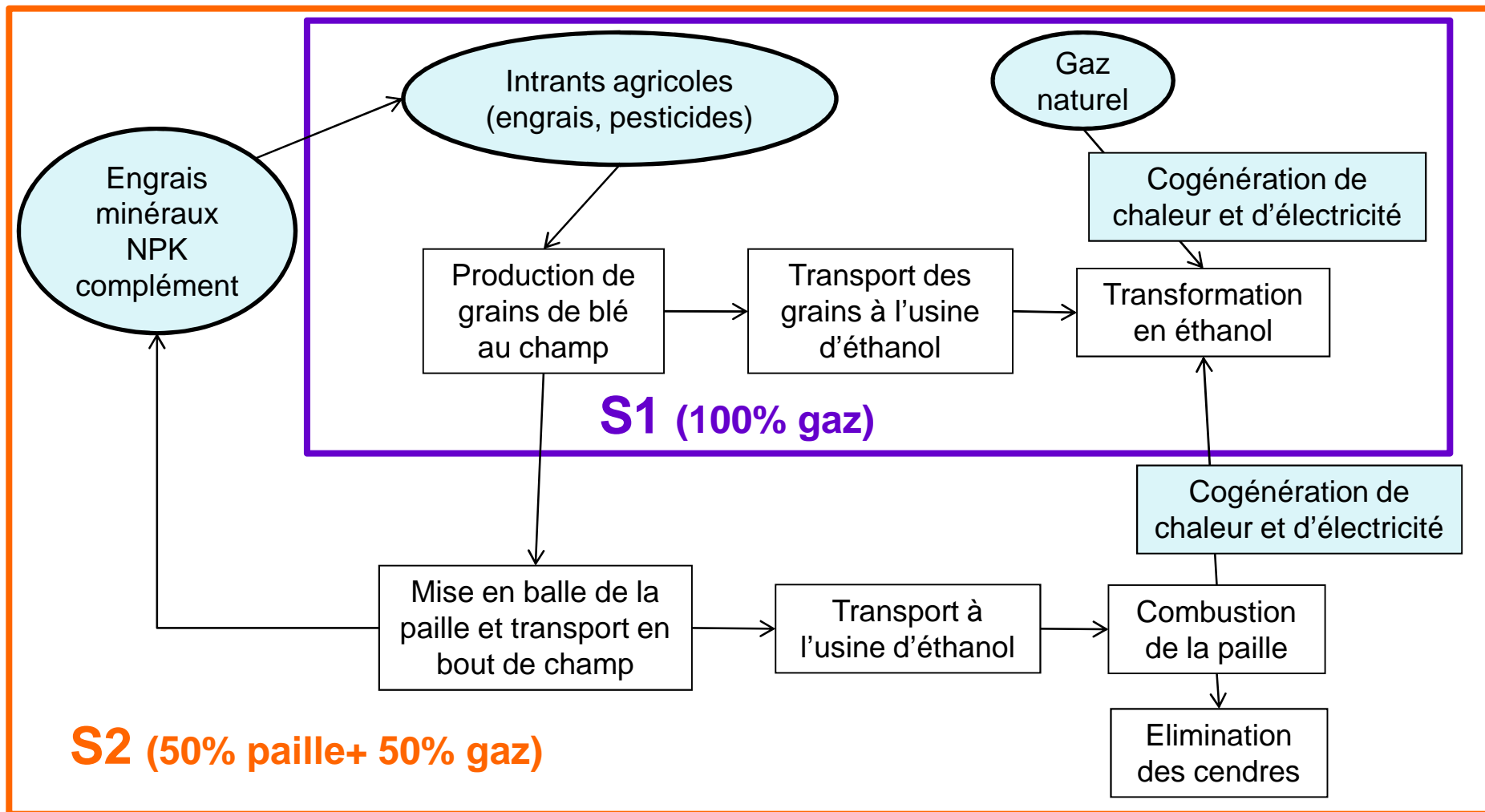
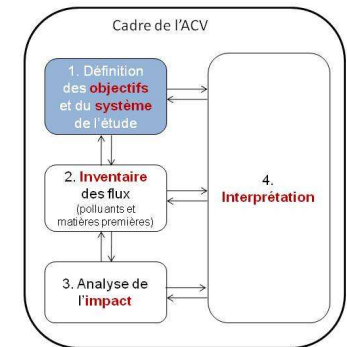
Définition du champ de l'étude : limites du système (1)



- En théorie :
arbre des processus exhaustif
- En pratique :
données et temps disponible :
 - Limites selon les mêmes réalités fonctionnelles
 - Seuls les processus dont la contribution > x% des émissions, de l'énergie...
 - Exclusion des étapes identiques dans les scénarios



Définition du champ de l'étude : limites du système (2)



Définition du champ de l'étude : hypothèses sur les scénarios

• Unité de production de bioéthanol et pailles :

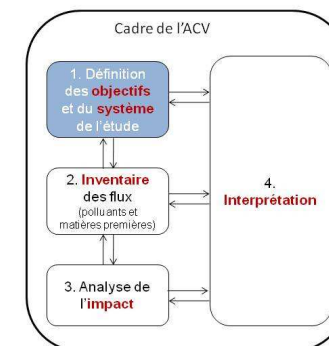
- Capacité production : 3×10^7 L éthanol /an
- Consommation énergétique primaire : 202×10^6 MJ /an
- Besoins en paille (pour 50% des besoins énergétiques) : 96×10^3 Mg de MS

⇒ Aire de collecte pailles : 6 000 km² autour de l'unité (sur 22 000 km² : Picardie + partie Marne et Seine & Marne)

• Hypothèses sur le milieu de la zone d'étude :

	Propriétés	Localisation
Sols bruns et bruns calcaires	Texture limoneuse ; pH=7.8, %C=1.2 ; %CaCO ₃ =1	Mons-en-Chaussée (80)
Sols lessivés dégradés	Texture argilo-limoneuse ; pH=6.9 ; %C=1.1, %CaCO ₃ <1	Feucherolles (78)
Rendzines	Texture argilo-limoneuse ; pH=8.7, %C=1.9 ; %CaCO ₃ =75	Le Rafidin (51)

Source : Gagnaire et al., 2006



• Hypothèses sur les cultures et pratiques culturales de la zone d'étude :

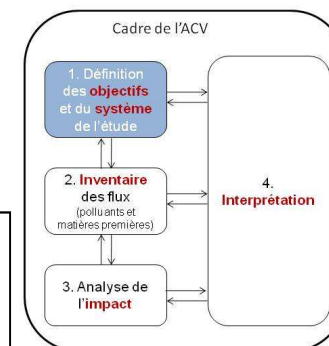
- Successions culturales simulées :
Cz/BI/Oh Cz/BI/BI Bs/BI/Oh Bs/BI/BI
Me/BI Mg/BI BI monoculture
- 2 options : paille exportée/ enfouie
- Pratiques régionales recommandées pour fertilisation et semis
- Bilan azoté pour ajuster les doses

- 3 types de sol principaux
- 3 stations météo (séries climatiques 1980-2000)

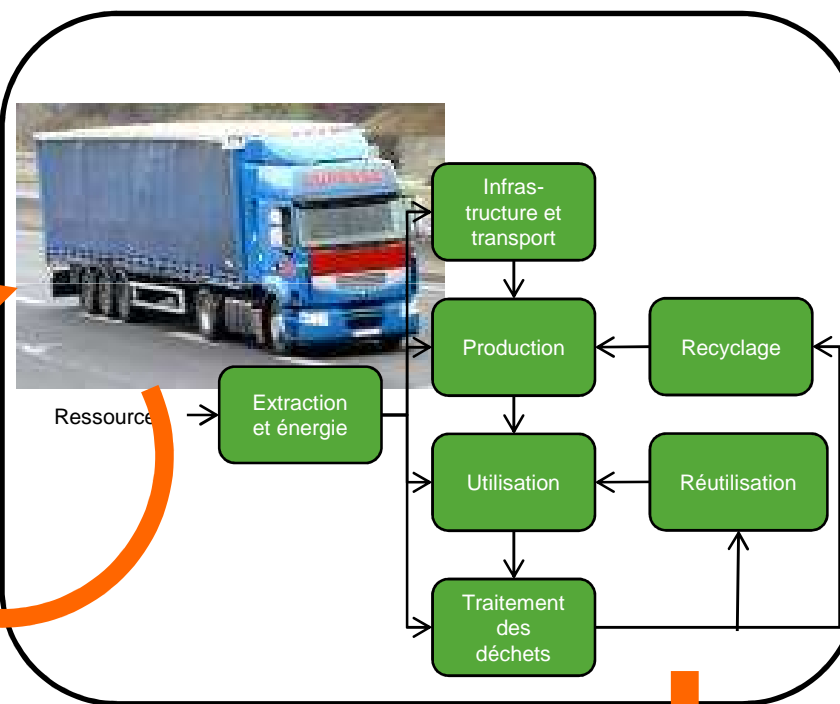
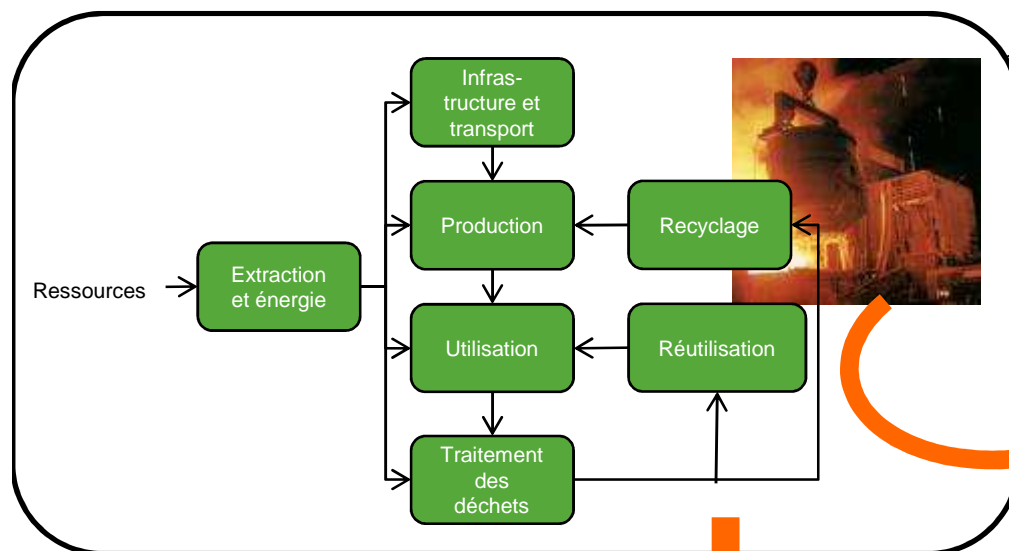
Site	Pluviométrie	Evapo- Tranpiration Potentielle	Température de l'air moyenne	Rayonnement journalier moyen
	mm/an		°C	MJ/m ² /jour
Abbeville (80)	774	637	10,3	10,65
Fagnières (51)	636	694	10,4	11,55
Mons (60)	627	665	10,6	10,73

Définition du champ de l'étude

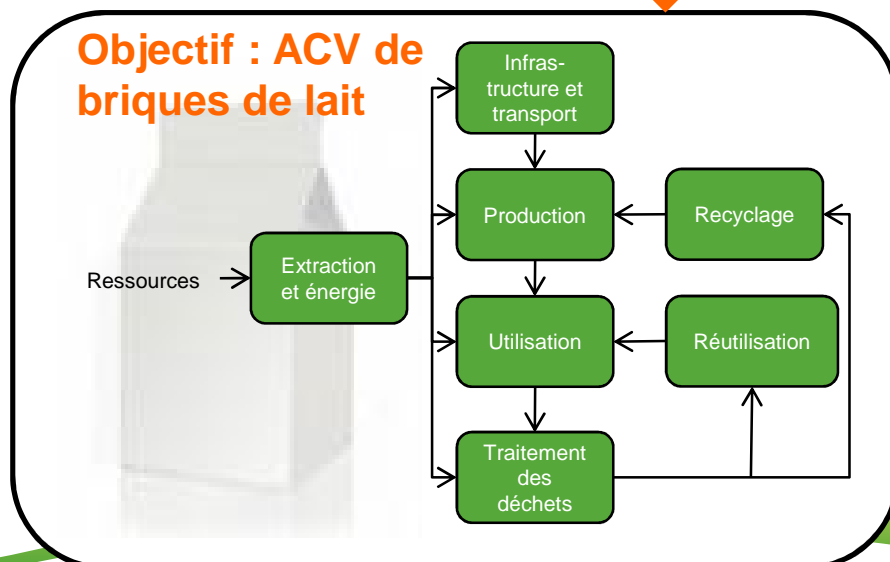
- Frontières ? CV imbriqués ?



Récursivité : pour produire de l'acier, il faut une aciérie partiellement constituée d'acier, etc...



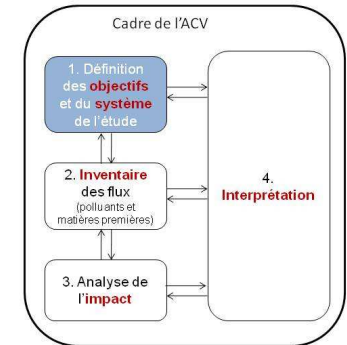
Objectif : ACV de briques de lait



Infrastructures routières?

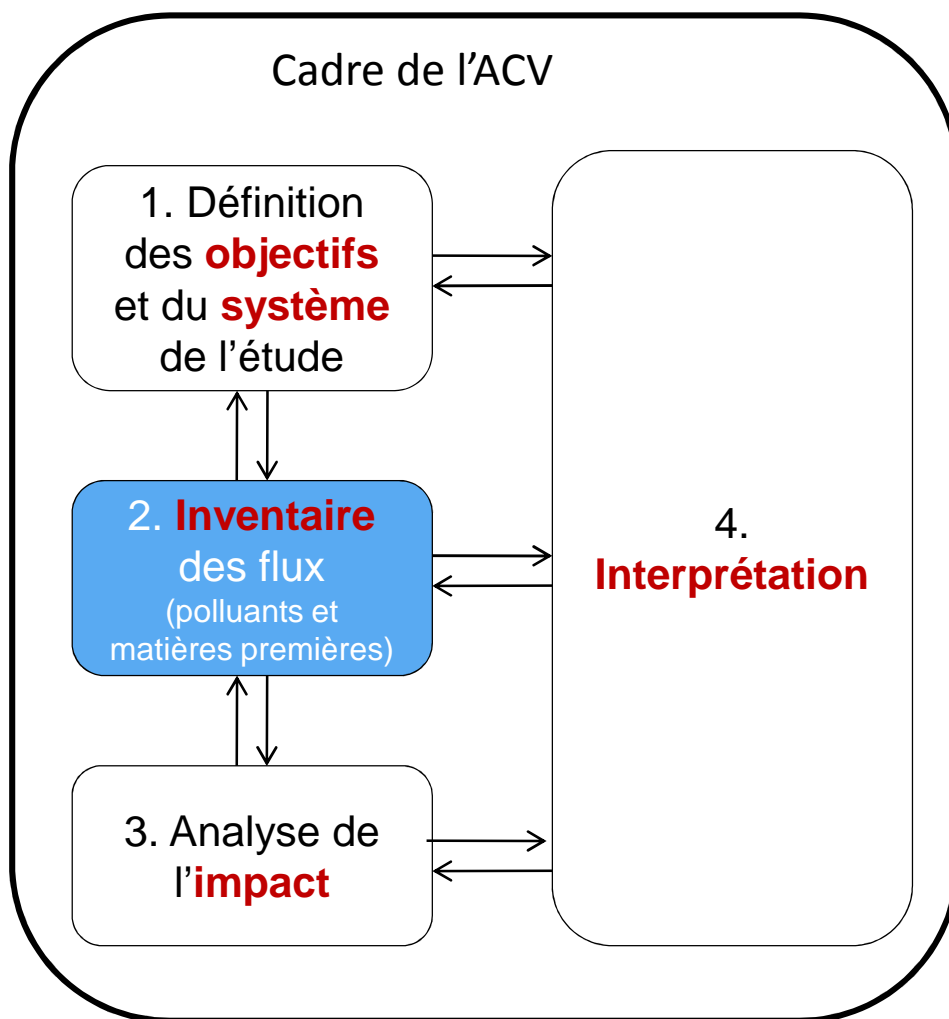
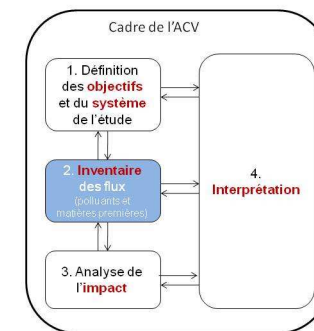


Définition du champ de l'étude

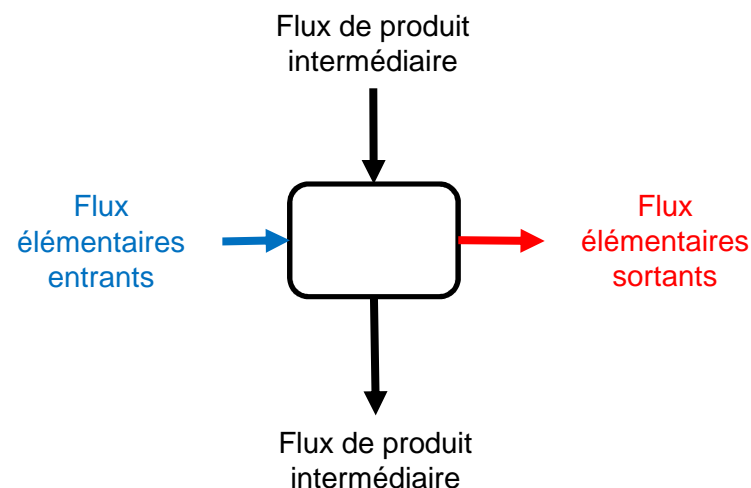


- Frontières/ imbrication des cycles de vie : selon les méthodes d'analyse énergétiques :
 - **1^{er} ordre** : seuls la fabrication des matériaux et les transports sont inclus (de moins en moins utilisé en ACV)
 - **2nd ordre** : tous les processus du cycle de vie sont inclus, mais pas les biens d'équipements (infrastructure, etc...)
 - **3^{ème} ordre** : Les biens d'équipement sont pris en compte (la part d'infrastructure est incluse dans l'analyse). Généralement, ils ne sont modélisés qu'au premier ordre, c-à-d que seuls la fabrication et les matériaux nécessaires pour les produire sont pris en compte

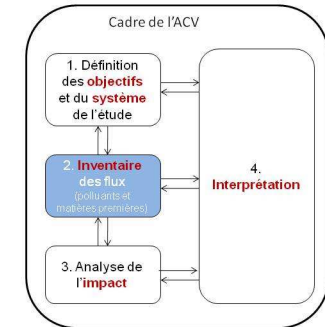
Inventaire des flux



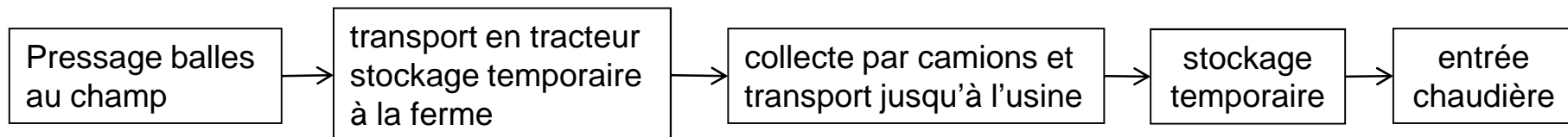
Description quantitative des flux de matière, d'énergie et de polluants pour tous les processus élémentaires



Inventaire des flux : exemple



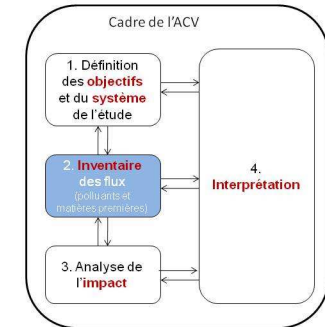
- Hypothèses sur les flux :
 - Pertes M.O. et nutriments du sol suite export pailles : compensation par apports minéraux chimiques
 - Paille considérée comme co-produit du grain \Rightarrow allocation de toutes les émissions au grain de blé
 - Transport et conditionnement paille :



- Allocation massique entre produit d'intérêt (= éthanol) et co-produit (drêches de blé pour alimentation animale) (*d'après projet BioFit*)
- Sources des données :
 - Dynamique C et N (dont pertes azotées) au champ : Modèle de culture CERES
 - Autres données filière (transport, énergie...) : Projet BioFit (base Ecolnvent)

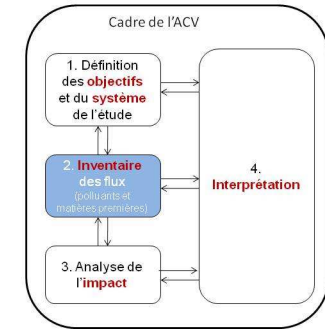
Inventaire des flux (2)

- Importance des données : fiables, décrites et mises à jour
- Prise en compte des déchets et co-produits :
 - Déchets à éliminer \Rightarrow traitement dans le système
 - Déchets recyclés en boucle fermée \Rightarrow réduction des matières premières
ex : pailles enfouies \Rightarrow \downarrow fertilisants minéraux
 - Co-produits, déchets recyclés en boucle ouverte \Rightarrow plusieurs méthodes d'allocation des émissions
*ex : allocation massique éthanol/ tourteau
allocation totalité des émissions au grain et non à la paille
(car production obligatoire de grain pour avoir de la paille)*



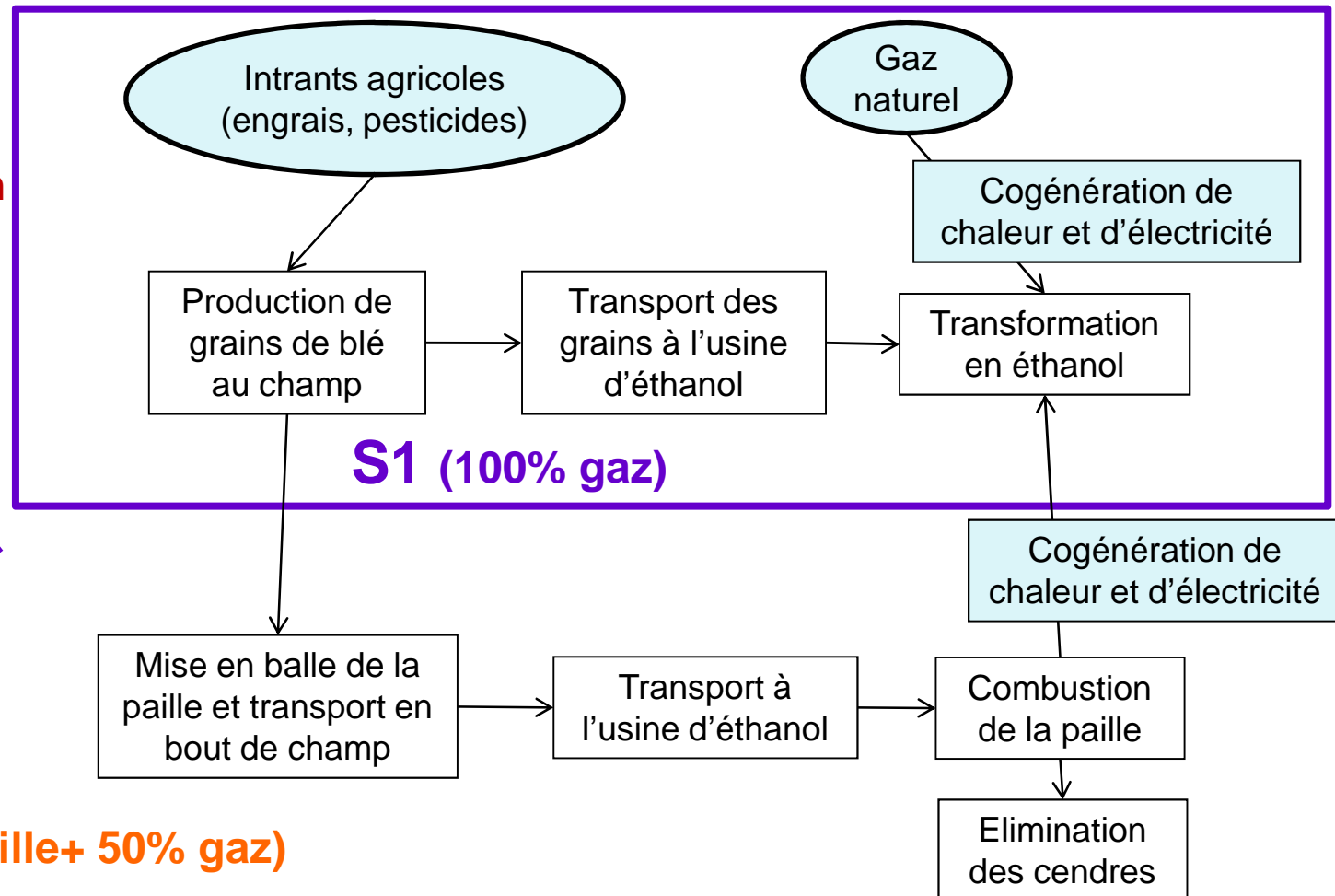
Déchets et co-produits(1)

- Elargissement du système



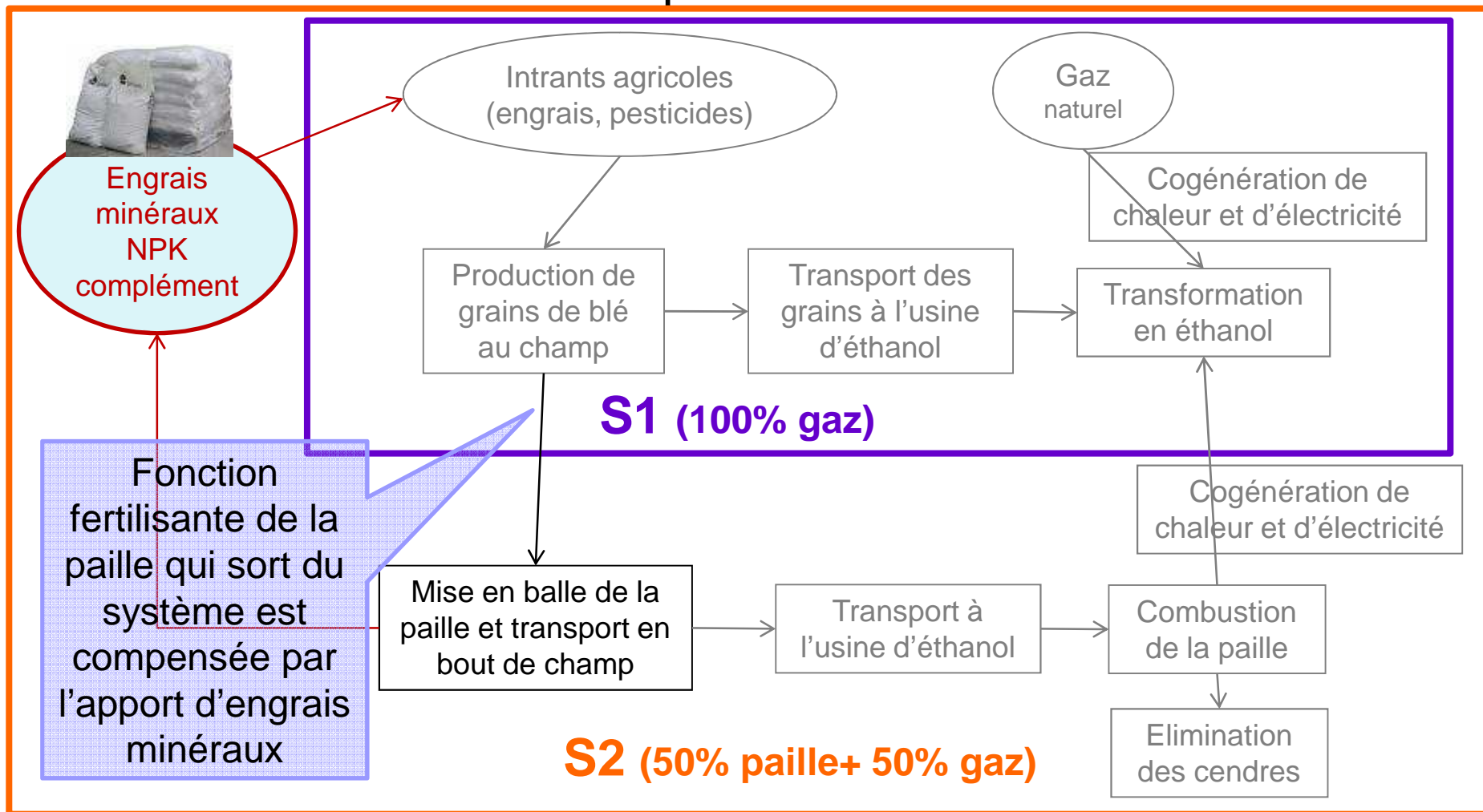
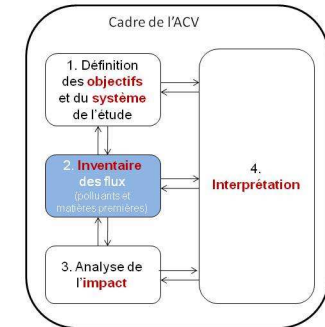
⚠ Répond-on
tjrs à la même
question ?

S2 (50% paille+ 50% gaz)



Déchets et co-produits(2)

- Allocation d'un bonus/malus par rapport à un produit de substitution



Déchets et co-produits (3)

• Allocation physique

- Variation marginale (si variation possible des proportions)

$$\begin{cases} \text{Émission totale} = \text{émission 1 produit} + \text{émission 1 co-produit} \\ \text{Émission totale} = \text{émission 1.2 produit} + \text{émission 0.8 co-produit} \end{cases} \Rightarrow$$

2 équations et
2 inconnues

- Causalité physique (masse, volume, énergie...)

476 kg
bioéthanol
 \Rightarrow **74 % des émissions**



1 tonne de blé



166 kg de
drêches
 \Rightarrow **26 % des émissions**



• Allocation financière ou économique

(NB : pas choisie dans notre cas)

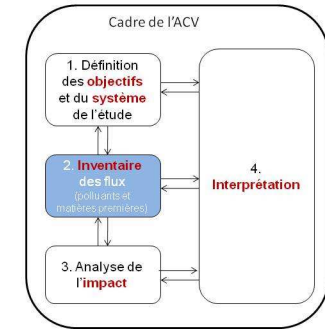
0.10 €/kg *
8000 kg/ha
= 800 €/ha
 \Rightarrow **70 % des émissions**



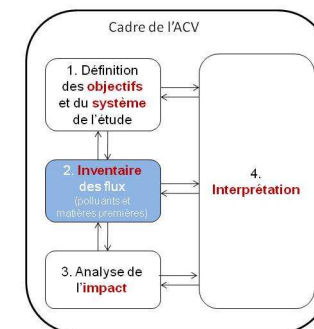
1 ha de blé



0.06 €/kg *
4000 kg/ha
= 240 €/ha
 \Rightarrow **30 % des émissions**

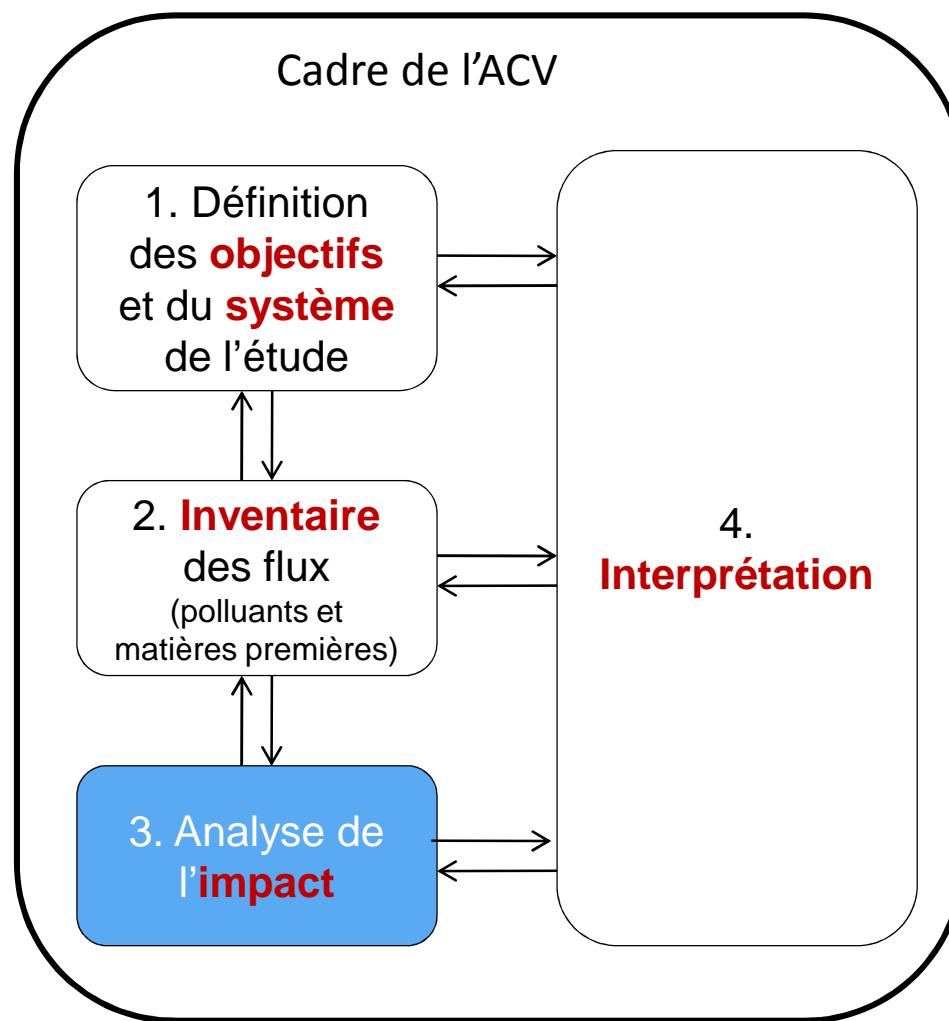
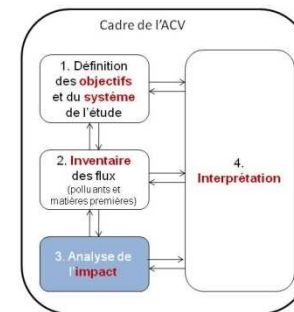


Affectation des flux : mise en œuvre des méthodes

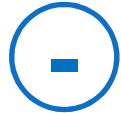
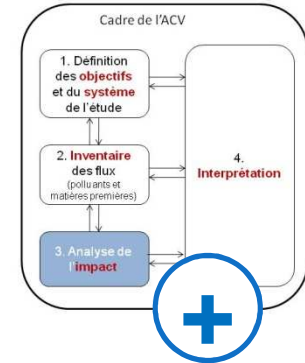


Méthode	Applicabilité	Données nécessaires	Interprétation et approche
Prorata (énergétique, massique, volumique, molaire, économique, etc...)	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en œuvre simple (si données disponibles pour effectuer les calculs) - Quasiment toujours applicable 	<ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques des produits et co-produits pour le calcul des prorata (selon prorata choisi : bilans massique, PCI, prix, etc...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode arbitraire a priori - Variabilité des résultats pour le pro-rata économique
Substitution	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en œuvre compliquée (identification de la / des filière(s) de substitution) - Pas applicable si : <ul style="list-style-type: none"> • Pas de filière de substitution • Trop de filières de substitution possibles et pas de critère permettant d'opérer un choix - induit des « boucles » 	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissance du système (pour identifier la filière de substitution) - Données supplémentaires : Bilan GES de la filière de substitution 	<ul style="list-style-type: none"> - Extension des frontières de l'analyse intégrant la valorisation du co-produit - Description plus proche de la réalité des systèmes - Interprétation difficile si plusieurs filières de substitution et variation importante du bilan GES final

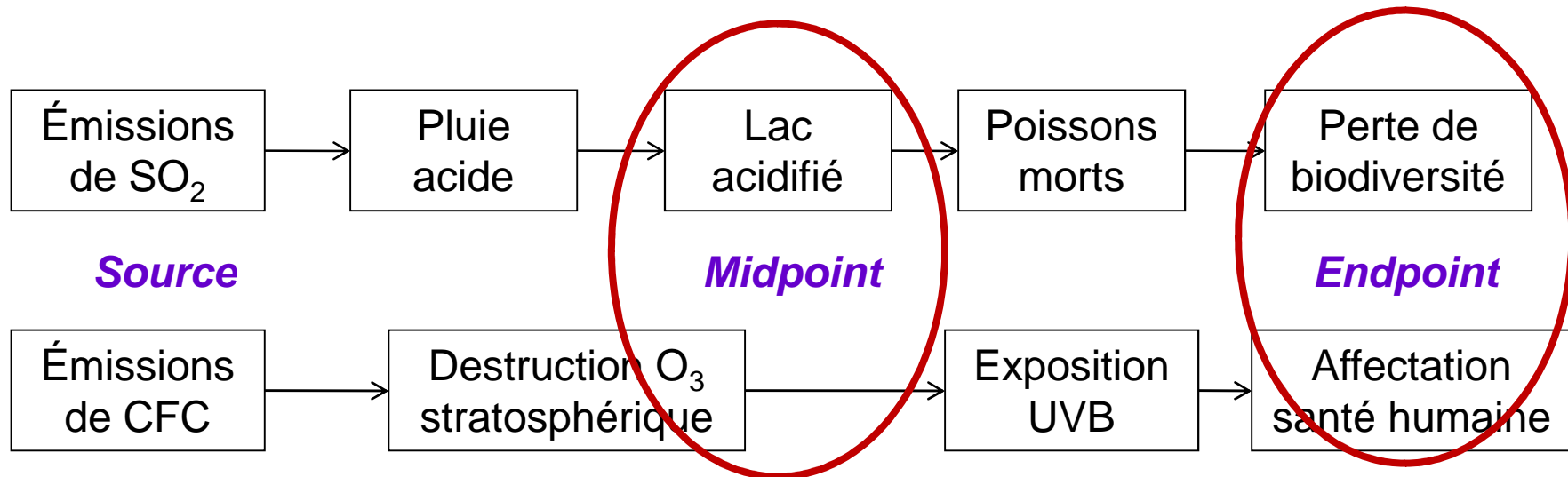
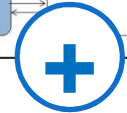
Analyse de l'impact



Impacts et dommages (1)



Communication des résultats



Incertitude de la prévision des impacts



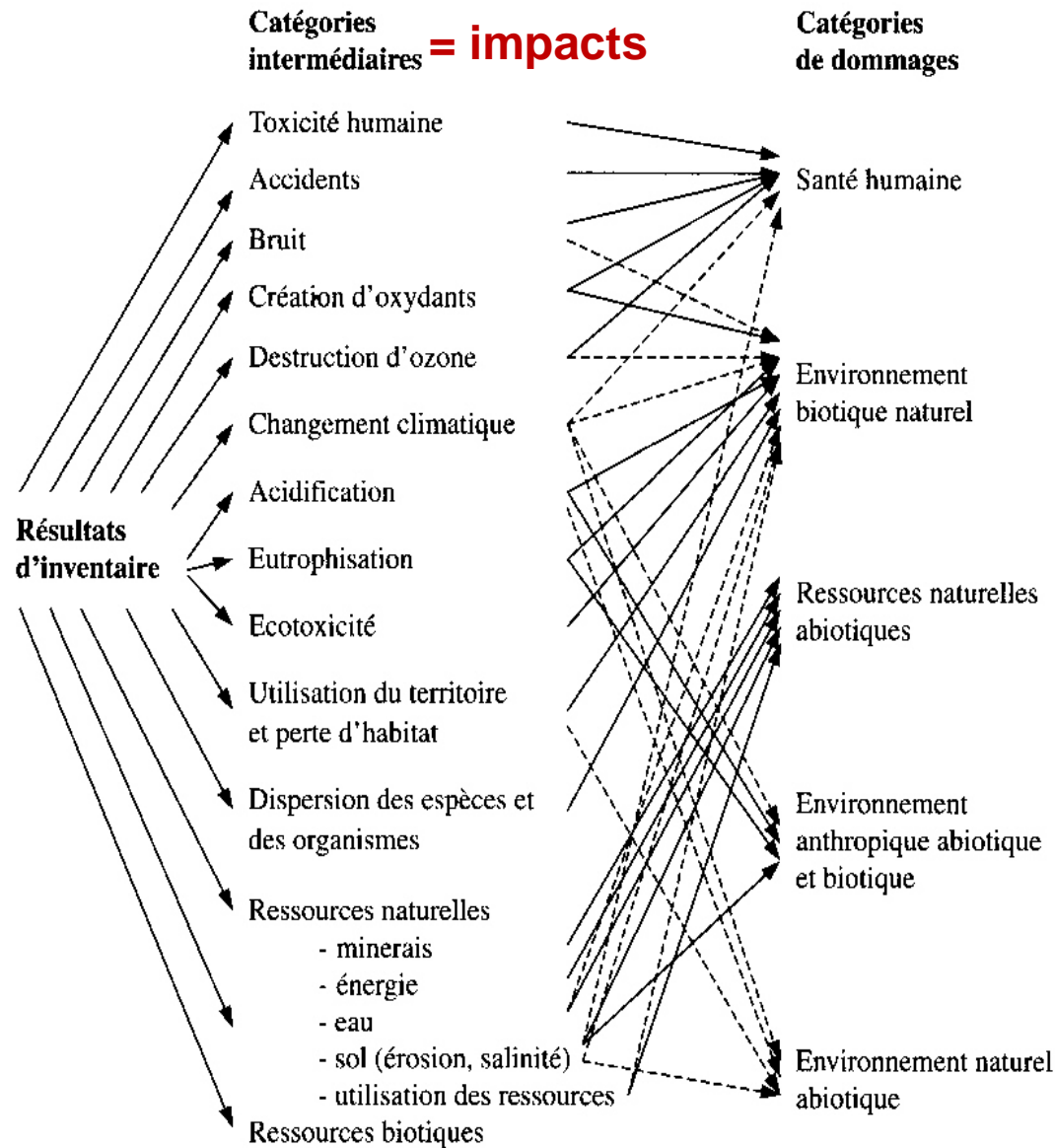
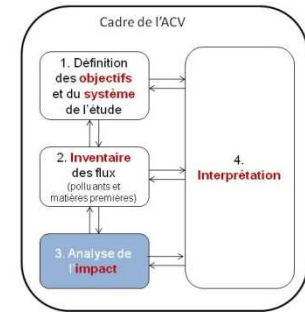
**Impacts
ou effets**



Dommages



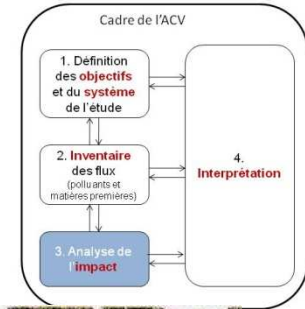
Impacts et dommages (2)



En pointillé : les informations entre catégories d'impacts et de dommages particulièrement incertaines

Source : Jolliet et al. *Analyse du Cycle de Vie*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2005

Echelles et spatialisation des impacts



Influence du milieu sur l'impact



Changement climatique

Destruction O₃ stratosphérique

Utilisation énergies non-renouvelables

Extraction minérale

Acidification et eutrophisation

Oxydation photochimique

Ecotoxicités terrestre et aquatique

Toxicité humaine

Radiations ionisantes

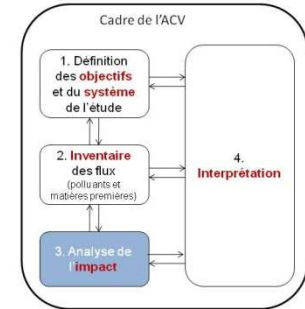
Utilisation des terres

Consommation eau

Qualité écologique du sol
Valeur intrinsèque biodiversité
Potentiel de production biotique

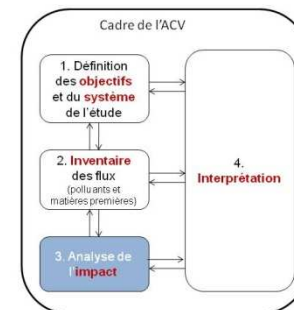
Les impacts sont fonction du milieu **MAIS** l'ACV prend mal en compte les aspects spatiaux
⇒ **Impacts POTENTIELS**

Exemple simple de l'impact « changement climatique »



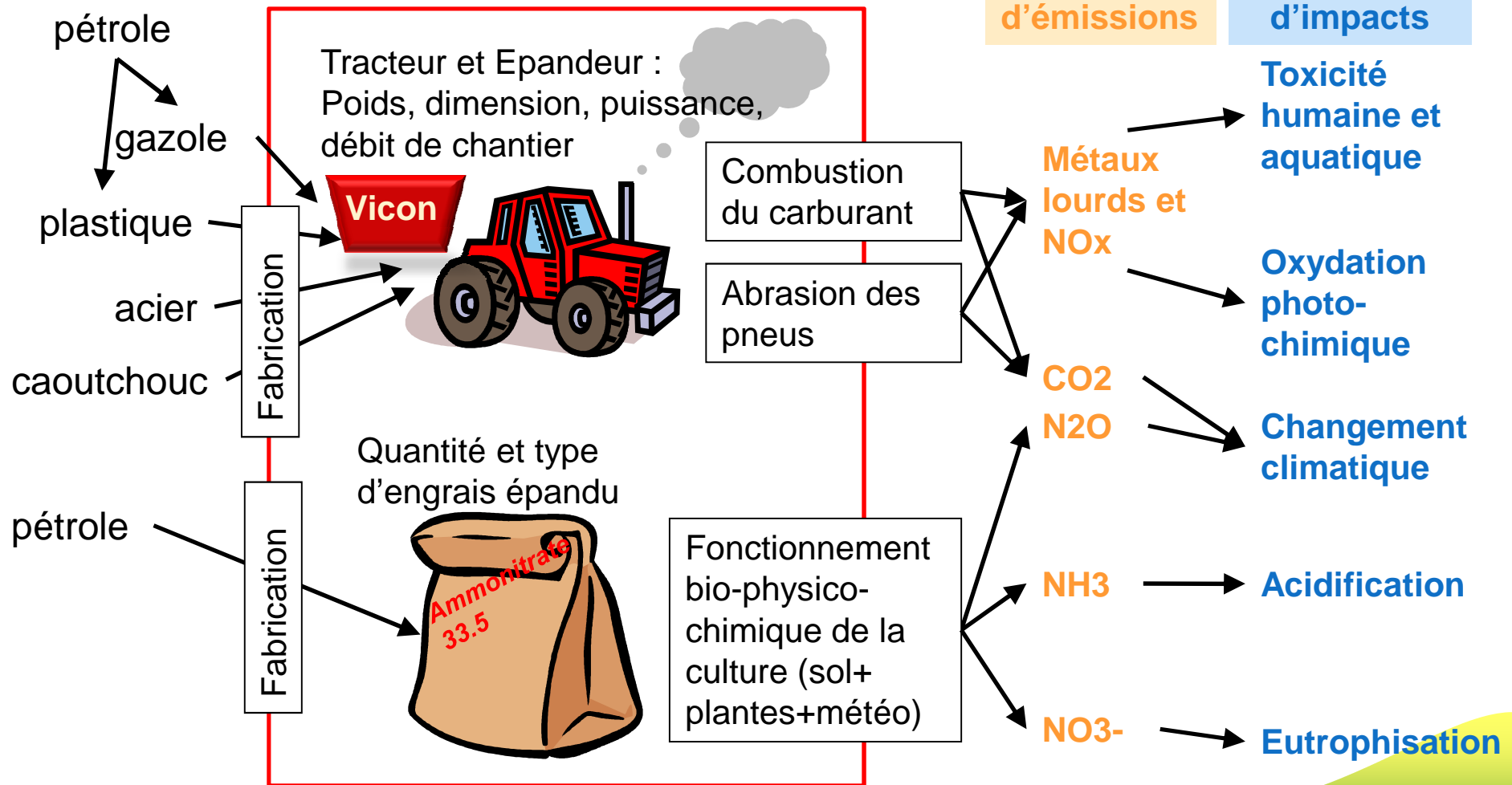
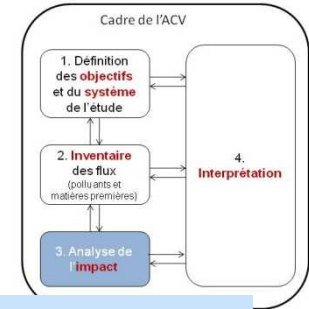
- Sélection de la catégorie d'impact : « changement climatique »
- Sélection des indicateurs de catégorie : forçage radiatif infrarouge en W/m^2
- Sélection des modèles de caractérisation : PRG à 100 ans (définition de 2007 du GIEC pour chaque GES)
- Attribution des résultats de l'inventaire de CV aux catégories d'impacts sélectionnées (= classification) : sélection de tous les flux identifiés comme contribuant à l'intensification de l'effet de serre (principalement : CO_2 , CH_4 et N_2O)
- Calcul des résultats d'indicateurs de catégorie (= caractérisation) : Utilisation des PRG pour calculer les bilans GES exprimés en équivalents CO_2 et ramenés à l'Unité Fonctionnelle

Etude ADEME-INRA bioéthanol & paille

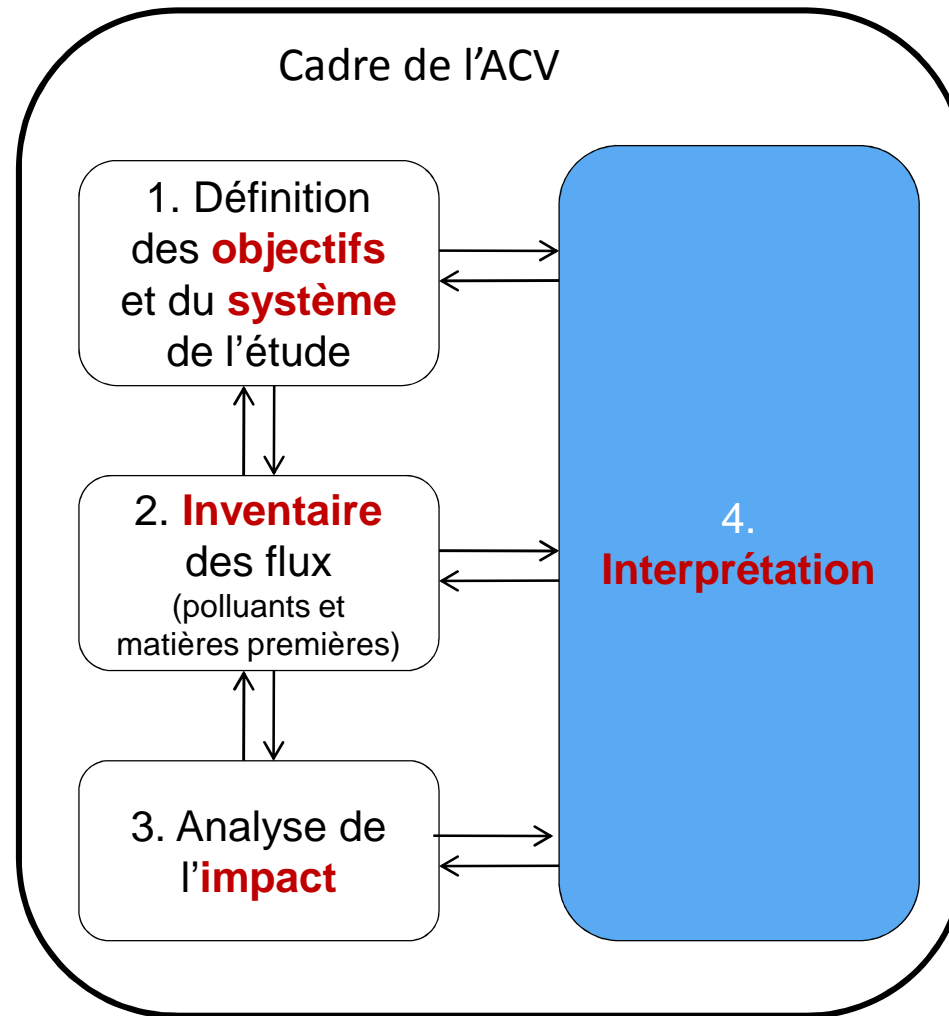
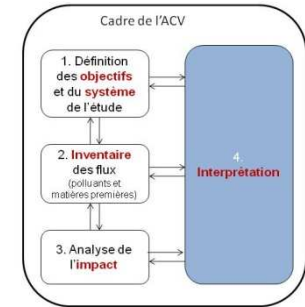


Catégorie d'impact sélectionnée	Caractérisation et classification retenues	Unité
Epuisement des ressources naturelles	Energie primaire non-renouvelable	MJ
Changement climatique	Effet de serre à 100 ans (PRG à 100 ans) des GES CO ₂ , CH ₄ et N ₂ O	g éq. CO ₂
Acidification atmosphérique	Potentiel d'acidification des gaz NH ₃ , SO ₂ et des Nox	g éq. SO ₂
Eutrophisation	Potentiel d'eutrophisation des substances nutritives azotées et phosphatées et des oligo-éléments	g éq. NO ₃ ⁻
Oxydation photochimique	Potentiel de formation de l'ozone troposphérique des COV, Nox, CO...	g éq. C ₂ H ₄

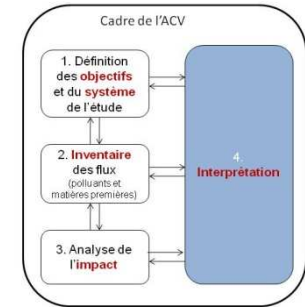
Qu'est-ce que l'on compte dans une ACV ? exemple de la fertilisation azotée d'une culture



Interprétation du cycle de vie



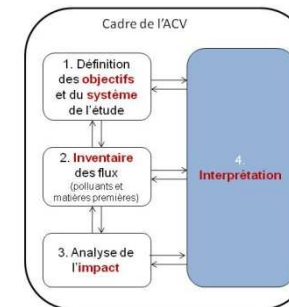
Interprétation du cycle de vie



- Confrontation des résultats à la question de départ
 - Identification des enjeux significatifs :
ex: contributions de l'étape de production agricole
effets de l'utilisation de la paille en substitution du gaz
 - Vérification de la sensibilité : variation des bilans et impacts en fonction des technologies/ hypothèses
ex: effet de la fréquence d'exportation des pailles,
effet des hypothèses sur la valeur fertilisante des pailles
 $VF \in]0;6[\text{kg N/ t de MS} : \text{impacts très peu sensibles à VF}$
 - Limites et recommandations/conclusions de l'étude
ex : faut-il différencier les types de sol dans les scénarios ?
Résultats similaire sur les effets environnementaux (émissions) et les rendements : **variabilité inter-annuelle du climat prépondérante** sur l'effet « sol » ou « rotation ».

Effets de l'exportation des pailles (1)

- Effet ⊕ utilisation des pailles (~ - 20%) pour effet de serre, énergie non renouvelable, et pollution photo-chimique
- Effet léger[†] négatif utilisation des pailles (- 3 à -6 %) pour acidification et eutrophisation



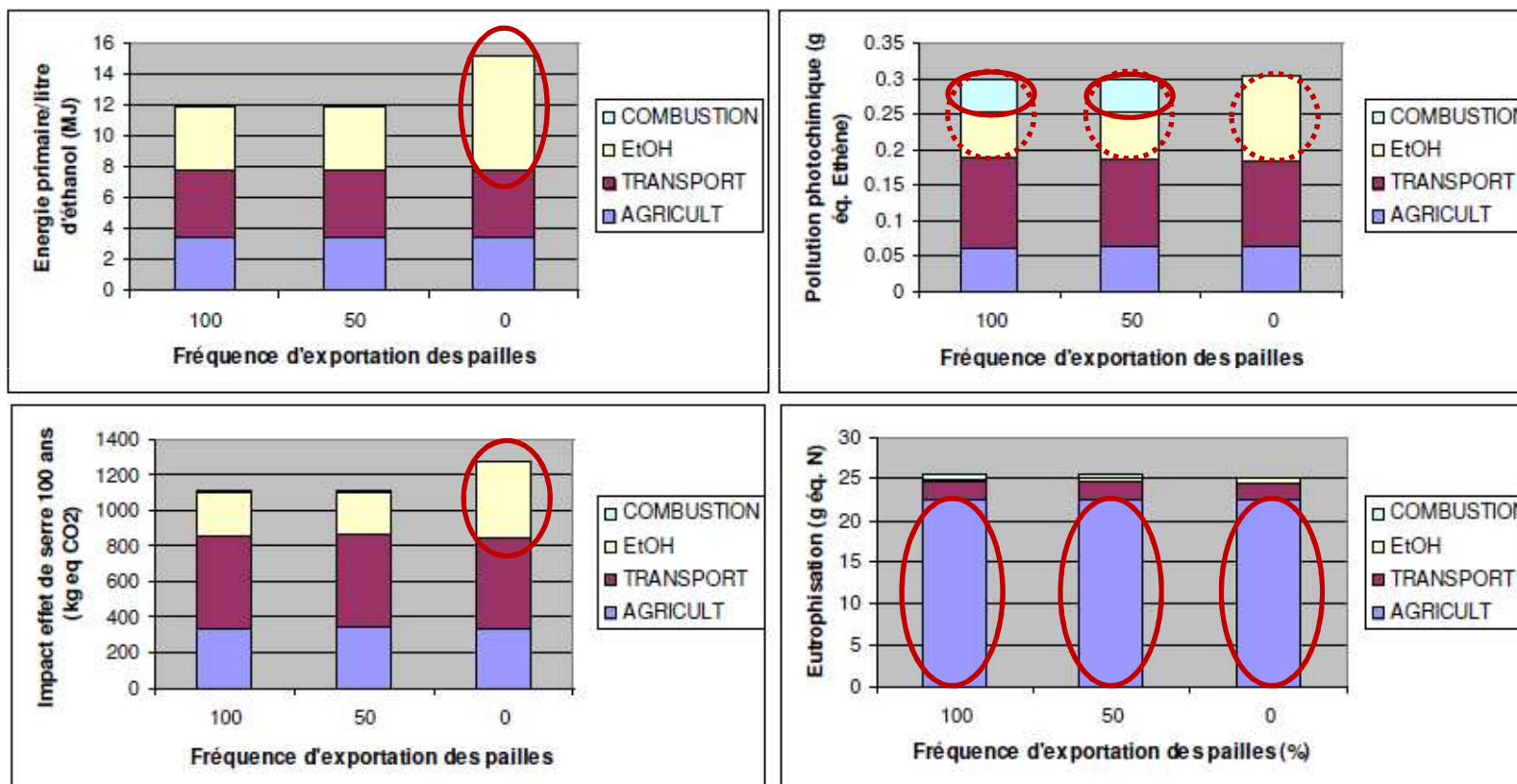
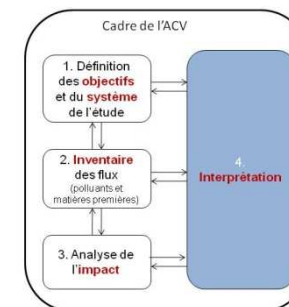
Type d'impact	Unité	S1	S2.1	S2.2	S2/kg de pailles
Energie Primaire non renouvelable	MJ	13.0	3.2	3.2	15.08
Effet de serre 100 ans	g éq. CO2	977.1	165.1	167.8	779.96
Acidification	g eq. SO2	9.6	-0.7	-0.7	-3.12
Eutrophisation	g eq. NO3	24.0	-0.7	-0.6	-3.06
Pollution photochimique	g eq. Ethène	0.3	0.01	0.01	0.02

Économie de l'équivalent du PCI des pailles (15 MJ/kg)

Différence entre S1 et S2 (moyenne S2.1 et S2.2) par kg de paille utilisée

Impacts calculés pour les systèmes S1 (référence) et S2 dans la Marne. 2 fréquences d'exportation des pailles sont simulées pour S2 : S2.1 : 50 % exportation et S2.2 : 100 % exportation. Pour les systèmes S2, résultats exprimés en différentiel par rapport à S1, UF = L de bioéthanol.

Effets de l'exportation des pailles (2)



Effet de la fréquence d'exportation des pailles sur les catégories d'impacts, pour la Marne, avec 3 niveaux d'exportation des pailles. AGRICULT = production agricole, TRANSPORT = transport champ-usine des pailles et des grains, EtOH = conversion en éthanol des grains dans l'usine, COMBUSTION + combustion des pailles et élimination des cendres.

Source : Gagnaire et al., 2006

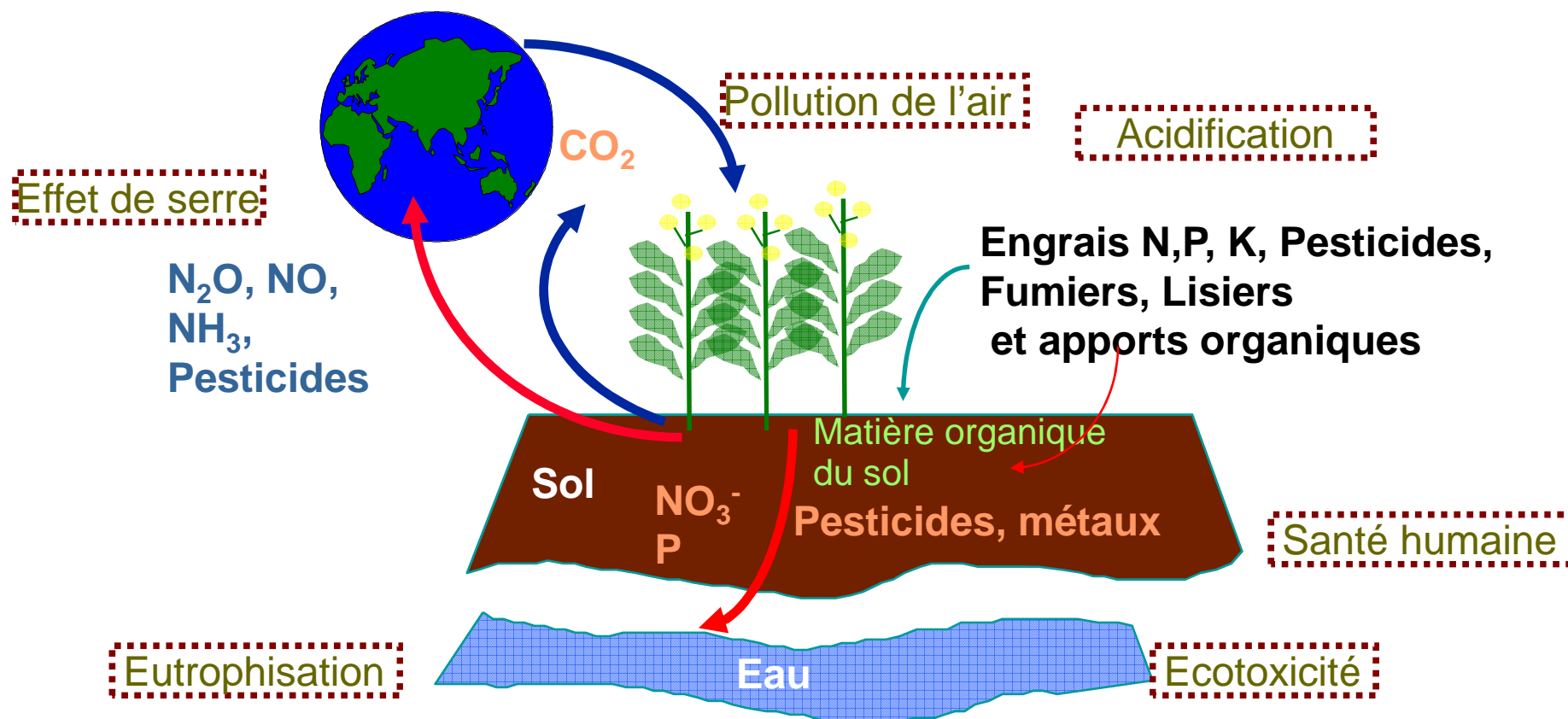
Conclusion de l'étude « pailles » INRA-ADEME

- Effet de l'exportation des pailles sur les sorties environnementales et agronomiques des systèmes étudiés : relativement faible, à noter :
 - Une baisse du rendement en blé avec la fréquence des prélèvements (~ - 0.5 à 1.5 q de MS/t de paille exportée)
 - La part importante du stockage du C des pailles restituées (0.05 à 0.1 t. C/ t de paille) dans le bilan GES de la phase agricole
 - Les effets légèrement positifs ou nuls de l'exportation des pailles sur les pertes en NO₃⁻, les émissions de N₂O et de NH₃
- Utilisation énergétique des pailles pour produire du bio-éthanol d'amidon de blé :
 - Bilan très positif dans le CV du point de vue utilisation des ressources non renouvelables et de l'effet de serre
 - Autres impacts étudiés (eutrophisation, acidification, pollution photochimique) : très peu affectés

ACV et systèmes agricoles (1)

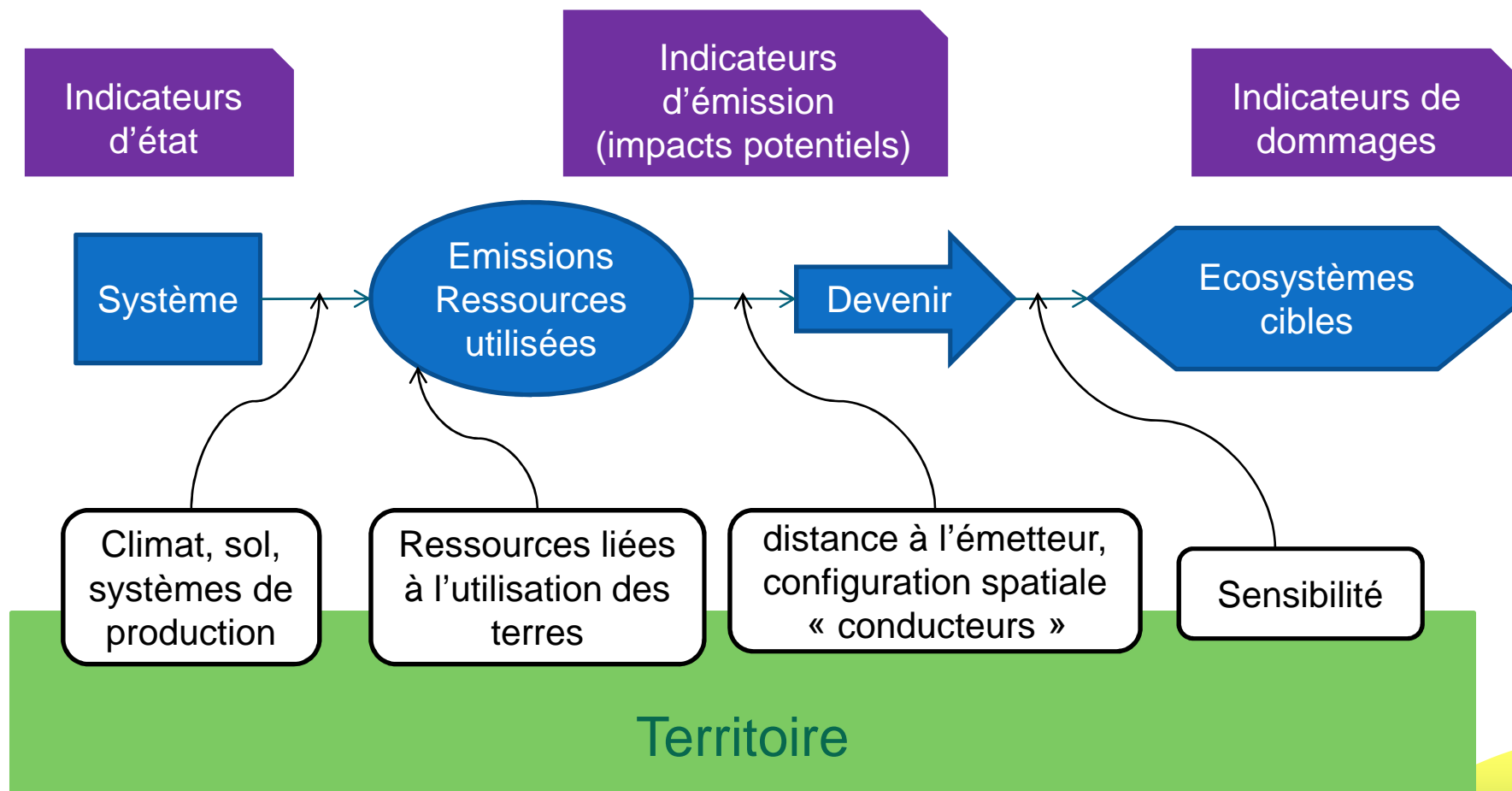
- Des **émissions très dépendantes des conditions techniques et pédo-climatiques** , elles-mêmes très variables
- Un milieu qui joue **plusieurs rôles** : émetteur, « transmetteur » et récepteur
- Des **impacts spécifiques** nécessitant des indicateurs adaptés (ex : qualité du sol et érosion, effets sur la biodiversité, effets des pesticides...)
- **Manque de références** sur certains impacts (manque de données et/ou méconnaissances des processus à une échelle significative)
- **Des échelles de temps et d'espace très différentes** doivent être intégrées

ACV et systèmes agricoles (2)



A l'échelle de la parcelle :
possibilité d'utiliser des modèles de cultures agri-environnementaux

ACV et territoire



Prise en compte du territoire

- Dans la définition des situations agricoles (~ scénarios) : différenciation du pédoclimat, des systèmes de culture pour :
 - La production et la mobilisation de la matière première
 - Les valorisations potentielles des co-produits (épandages...)
- Dans les évaluations d'impacts :
 - spatialisation des émissions
 - Prise en compte d'impacts spécifiques (ex : modification des assolements ⇒ changement d'usage des sols agricoles)
- Dans la présentation des résultats d'ACV : lien avec les problématiques des acteurs locaux, par exemple :
 - présentation cartographiée des impacts locaux si possible, ex : NO_3^-
 - Lien entre les impacts et les pratiques (travail du sol, fertilisation) pour identifier les marges de manœuvre et définir les meilleures « technologies »

Conclusion

- L'ACV : une méthode d'évaluation pouvant être appliquée à l'agriculture :
 - Nécessité de prendre en compte le territoire, ses caractéristiques physiques et les attentes de ses acteurs
 - Appelle le développement de méthodes et d'indicateurs spécifiques (émissions, intégration de la variabilité des conditions de production)
- L'ACV agricole permet d'intégrer l'évaluation des matières premières agricole dans les filières les utilisant