

## ➤ GlobAgri

Un outil quantitatif pour évaluer les conséquences globales de scénarios d'évolution des systèmes alimentaires

Chantal Le Mouël, INRAE, SMART, Rennes  
Patrice Dumas, Cirad, Cired, Montpellier

Ecole-chercheurs MAELE, IA Rennes-Angers, Rennes

- 1. Description de l'outil**
- 2. Les entrées, les sorties**
- 3. Les avantages, les limites**
- 4. Une illustration**
- 5. Conclusion**



# ➤ 1. Description



# Qu'est-ce que GlobAgri ?

- Un ensemble de codes permettant de générer **une base de données** cohérente et équilibrée
- **Un modèle de bilan emplois-ressources** de produits agricoles et agro-alimentaires
- Echelle **mondiale**, données nationales



## ➤ La base de données GlobAgri (1)

- Outil quantitatif initialement développé dans le cadre de la prospective INRA-CIRAD « Agrimonde-Terra », et pour le WRR
- Développé et hébergé au Cired (Cirad tutelle) en Python, Shell, en cours de transfert à SMART
- Utilise principalement des données FAOStat (*Commodity Balances*, *Food Balance Sheets*) pour les bilans par pays et produits de FAOStat (187 pays, 130 produits) + d'autres bases FAOStat (Production ; Inputs : land use, pesticides, fertilisants ; Population)
- Données complémentaires sur l'élevage (Havlik/Herrero (GLOBIOM) (ou Bouwman), World Fish Institute, Monfreda fourrages) et sur les émissions de GES (FAO, IFA, Herrero, Zhang, JRC, Yan...)
- Base de données *cohérente pour différentes nomenclatures produits et régions*, pour une année de référence (actuellement « 2010 » = moyenne 2009-11) : module d'agrégation « à la carte »

## ➤ La base de données GlobAgri (2)

- Permet de construire des bilans cohérents et équilibrés :
  - alimentation animale : désagrégation de la variable Feed entre espèces, entre systèmes de productions par espèce => rations
  - trituration : cohérence productions graines, huiles et tourteaux
- Transforme les « produits dérivés » en équivalent « produits primaires » : la variable « Processed » réallouée aux différents usages (alimentaire ou autres utilisations, imports, exports)
- Permet de rendre cohérentes différentes bases de la FAO et de relier les régimes alimentaires en équivalent calories et protéines aux surfaces en hectares
- Traite les données du commerce bilatéral (exclusion du commerce intra-région lors de l'agrégation des pays en grandes régions)



## ➤ Le modèle de bilan GlobAgri [version « AE2050 »] (1)

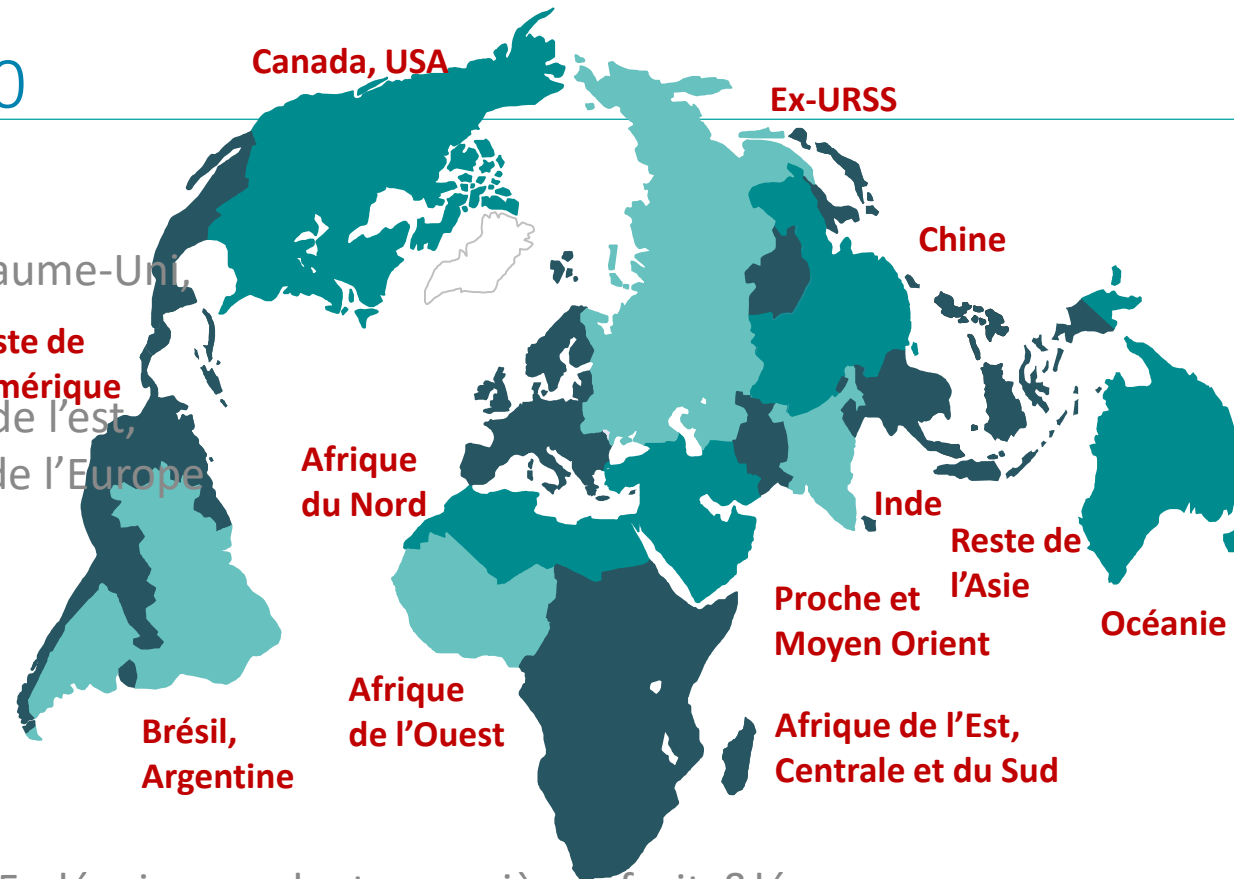
- Modèle de bilan (de produits agricoles et agro-alimentaires)
- Non économique : pas de prix
- Europe décomposée en 8 sous-régions + 13 régions « reste du monde » (ajustable)
- 40 produits (tous types confondus)
- Année de base : moyenne 2009-2010-2011
- Chaque produit et chaque région :  
production + importations – exportations = utilisations pour alimentation humaine et animale + autres utilisations + pertes + variation de stocks
- Conçu pour simuler l'impact de chocs sur les utilisations (**alim. humaine, autres**) sur les surfaces (cultivées, pâtures) via ajustement des productions et des échanges
- Développé en GAMS dans l'UMR SMART



# ➤ GlobAgri-AE2050

- **21 zones** (8 in Europe):

- France, Allemagne, Royaume-Uni, Pologne
- Europe du sud, Europe de l'est, Europe centrale, Reste de l'Europe



- **38 agrégats de produits :**

- **15 cultures** (4 céréales, 5 oléagineux, plantes sucrières, fruits&légumes, légumineuses, racines&tubercules, autres)
- **11 autres produits végétaux** (huiles, tourteaux, agrégat autres)
- **7 produits animaux** (lait&pro. laitiers, viande bovine, viande de porc, viande de volaille, viande de petits ruminants, oeufs, produits aquatiques)
- **5 fourrages** (herbe des prairies perm., herbe des prairies temp., fourrages cultivés, parcours et déchets, résidus de cult.)



## ➤ Le modèle de bilan GlobAgri (2)

$$(1) \text{Prod}_{ijt} + \text{Imp}_{ijt} - \text{Exp}_{ijt} = \text{Food}_{ijt} + \text{Feed}_{ijt} + \text{Trit}_{ijt} + \text{Oth}_{ijt} + \text{Waste}_{ijt} + \text{Vstock}_{ijt}$$

$$(2) \text{Area}_{vjt} = \text{Prod}_{vjt} / \text{Yield}_{vjt} \text{ avec } \sum_v \text{Area}_{vjt} = e_{jt} \left( \sum_v \text{Surf}_{vjt} \right) \begin{matrix} e_{jt} > 1 \text{ si multi-cropping} \\ e_{jt} < 1 \text{ si jachère, abandon, ...} \end{matrix}$$

$$(3) \text{Feed}_{ijt} = \sum_a \beta_{iajt} \text{Prod}_{ajt}$$

$a$  : produits animaux  
 $\beta_{iajt}$  : coefficient de transformation du produit  $i$  en produit animal  $a$  ; « coefficient input-output »

$$(4) \text{Trit}_{ijt} = \sum_p \mu_{ipjt} \text{Prod}_{pjt}$$

$p$  : huiles ou tourteaux  
 $\mu_{ipjt}$  : coefficient de transformation des graines en huiles ou tourteaux

$$(5) \text{Waste}_{ijt} = \gamma_{ijt} (\text{Total Domestic Use}_{ijt})$$

$$(6) \text{Imp}_{ijt} = \alpha_{ijt} (\text{Total domestic use}_{ijt})$$

$\alpha_{ijt}$  : coefficient d'import du produit  $i$  pour la région  $j$  pour l'année  $t$

$$(7) \text{Exp}_{ijt} = \sigma_{ijt} (\sum_j \text{Imp}_{ijt})$$

$\sigma_{ijt}$  : part de marché de la région  $j$  pour le produit  $i$  pour l'année  $t$

### 2 contraintes :

$$(8) \sum_j \text{Imp}_{ijt} = \sum_j \text{Exp}_{ijt}$$

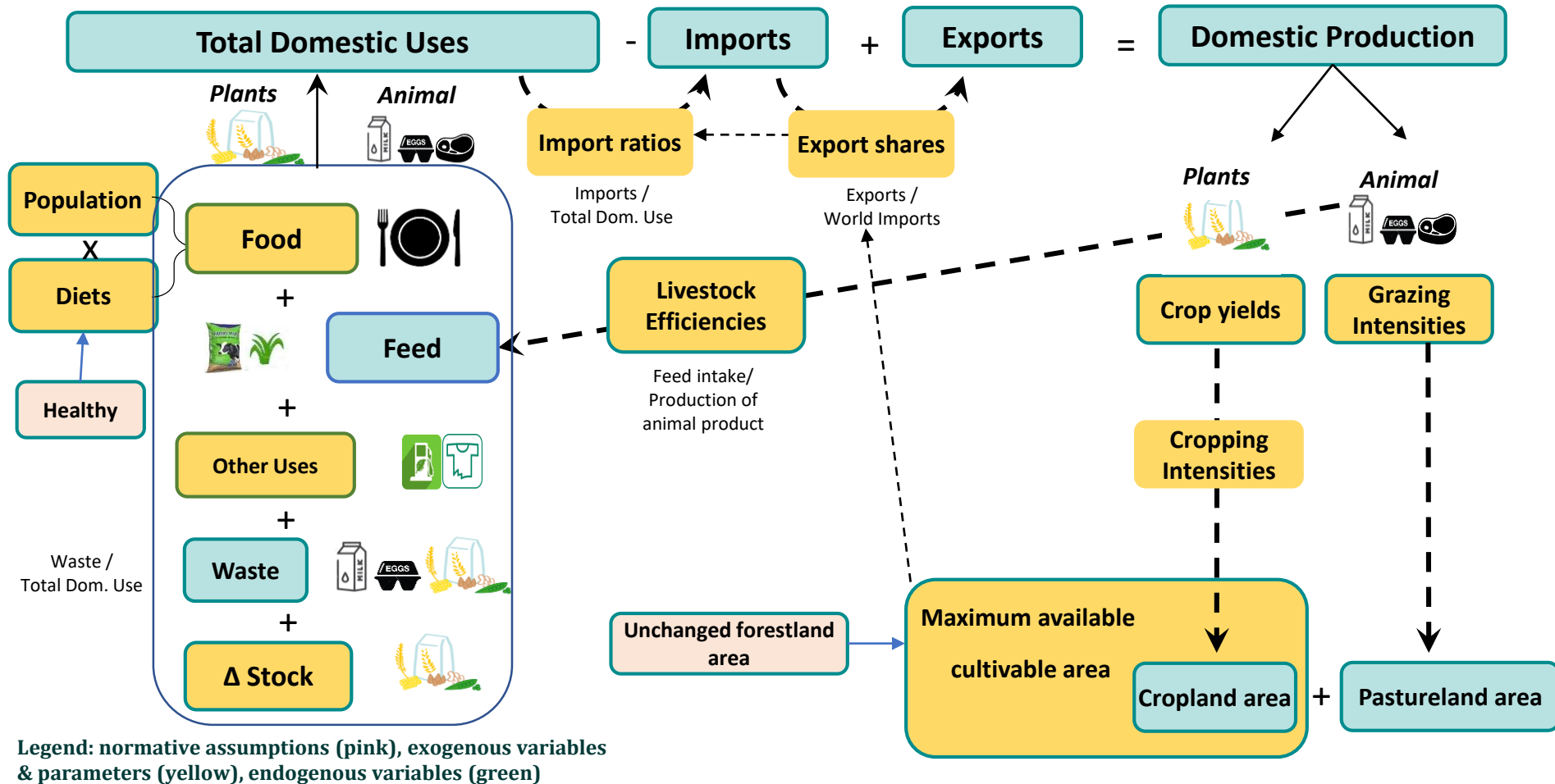
pour chaque produit, il doit y avoir équilibre sur les marchés mondiaux

$$(9) \sum_v \text{Surf}_{vjt} \leq \overline{\text{Surf}_{jt}}$$

pour chaque région, la surface (cultivée ou agricole) ne peut dépasser la surface correspondante disponible

# ➤ GlobAgri – Fonctionnement du modèle

Version AE2050 = 21 regions, 38 products



**INRAE**

Ecole-chercheurs MAELE Associer prospective territoriale et évaluation multicritère pour renseigner l'évolution des élevages dans les territoires

10-12 juin 2023, IA Rennes-Angers, Rennes

## ➤ Balance d'azote et efficacité d'usage de l'azote

Bilan

$$N_{har} + N_{RM} + N_{loss} = N_{synth} + N_{man} + N_{fix} + N_{dep} = N_I$$

Efficacité

$$NUE = \frac{N_{har} + N_{RM}}{N_I}$$

$$N_{har} = \alpha_N Prod$$

$\alpha_N$  : contenu en azote

$$N_{man} = \alpha_{man} \frac{man^T}{man_{ref}^T}$$

$man^T$  : azote total appliqué venant de l'élevage

$$N_{fix} = \alpha_{fix} Prod$$

$\alpha_{fix}$  : coefficient de fixation par les légumineuses (une partie va à maïs et blé)

$$N_{synth} = \frac{N_{har} + N_{RM}}{NUE} - N_{man} + N_{fix} + N_{dep}$$

NUE projeté

N synthétique obtenu par différence

## ➤ Exemples d'application de l'outil GlobAgri

- Etude ANMO « Dépendance alimentaire de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient », pilotée par la DEPE, commanditée par Pluriagri, 2013-2015
- Prospective Agrimonde-Terra, pilotée par la DEPE, commanditée par les DG Inra et Cirad, 2012-2016
- Etude AE2050 « L'Agriculture Européenne sous l'impact du changement climatique », pilotée par la DEPE, commanditée par Pluriagri, 2018-2019
- Etude WRR « Creating a sustainable food future: A menu of solutions », 2018

=> Exercices de projections à l'horizon 2050, avec élaboration de scénarios alternatifs (ex Agrimonde-Terra), ou scénarios tendanciels avec analyses de sensibilité (ex ANMO : leviers pour limiter l'augmentation de la dépendance aux imports), ou leviers pour limiter les émissions (WRR)

## ➤ 2. Les entrées, les sorties



## ➤ Les entrées du modèle

	Definition	Examples of hypotheses constituting the scenarios
Input variables		
$Food_{ij}$	Human consumption of product $i$ in region $j$	Demographic change in region $j$ Change in diets in region $j$
$Oth_{ij}$	Other uses of product $i$ in region $j$	Evolution in production of non-food products (biofuels, for example) based on agricultural biomass in region $j$
$\overline{Surf}_j$	Maximum cultivable area available in region $j$	Deforestation or reforestation in region $j$ Soil degradation or restoration in region $j$ Expansion of irrigation in region $j$ Climate change in region $j$
$Y_{vj}$	Yield per hectare of plant product $v$ in region $j$	Technical progress and/or change of cropping system in region $j$ Expansion or shrinkage of irrigation schemes, changes in irrigation system efficiency in region $j$ Climate change in region $j$
$\Delta S_{ij}$	Stock variation of product $i$ in region $j$	Increases or decreases in public stocks for food security for product $i$ in region $j$
Input parameters		
$\beta_{vaj}$	Transformation coefficient of plant product $v$ in animal product $a$ in region $j$	Technical progress and/or change in livestock production system leading to a change in animal efficiency in region $j$
$\gamma_{ij}$	Coefficient of losses of product $i$ in region $j$	Reduction in losses in region $j$
$IC_j$	Transition coefficient between the sum of harvested areas and cultivated area in region $j$	Growth or reduction in cropping intensity in region $j$ Growth or reduction in fallow (set-aside) in region $j$
$\alpha_{ij}^*$	Import dependency coefficient of product $i$ in region $j$	Trade policy in region $j$
$\sigma_{ij}^*$	Share of world market of region $j$ for product $i$	Trade policy in region $j$ Gain in competitiveness of region $j$ compared to competing regions

## ➤ Les sorties du modèle : Production, échanges, usage des terres

<b>Output variables</b>	<b>Definition</b>
$Prod_{ij}$	Production of product $i$ in region $j$
$Feed_{ij}$	Demand for animal feed $i$ by animal product $a$ in region $j$
$Exp_{ij}$	Exports of product $i$ in region $j$
$Imp_{ij}$	Imports of product $i$ in region $j$
$\sum_i U_{ij}$	Total domestic use of product $i$ in region $j$ ( $Food_{ij} + Feed_{ij} + Oth_{ij} + Waste_{ij} + \Delta S_{ij}$ )
$Waste_{ij}$	Waste and losses of product $i$ in region $j$ during storage, transport and distribution
$HA_{vhj}$	Harvested area for product $v$ in region $j$
$Surf_j$	Total cultivated area of annual and permanent crops in region $j$
<b>Output parameters</b>	<b>Definition</b>
$\alpha_{ij}^*$	Import dependency coefficient of product $i$ in region $j$
$\sigma_{ij}^*$	Share of world market of region $j$ for product $i$

## ➤ Les sorties du modèle : Environnement

Output variables	Definition
$N_{loss}$	Pertes d'azote agricole
$E_{N,synth} (N_{synth})$	Emissions liées à la synthèse de l'azote synthétique
$E_{soils} (N_{synth}, N_{man})$	Emissions liées à l'application d'azote
$E_{ener}$	Emissions liées à l'utilisation directe d'énergie basé sur la surface agricole ou la production de l'élevage
$E_{ent}, E_{man\ mgmt}, E_{PRP}$	Emissions de l'élevage
$Q_{fert}, E_{fert}$	Quantités de fertilisants autres que l'azote basés sur la surface par produit et émissions liées à leur extraction
$Q_{pesti}, E_{pesti}$	Quantités de pesticides basée sur la surface agricole totale et émissions liées à leur synthèse
$E_{land}$	Emissions liées au changement d'usage des sols. Différence de contenu carbone divisé par 30. Direct + indirect quand les cultures remplacent des pâtures. Végétation remplacée basée sur les changements récents



## ➤ 3. Les avantages, les limites



## ➤ Les avantages

- **Simplicité** : on rentre directement le scénario dans le modèle [contrairement modèles avec prix endogènes]
- **Pédagogie** : simulation facile et rapide ; analyse de sensibilité facile à mettre en œuvre
- **Facilité dialogue interdisciplinaire** : limite effet « boîte noire »



## ➤ Les limites

- **Représentation frustrée du fonctionnement des marchés :**
  - pas de prix pour équilibrer les marchés
  - Pas de comportement des agents (producteurs, consommateurs)
- **Rigidités :**
  - Structure des imports et des exports fixes
  - Structure des rations animales fixes



## ➤ 4. Une illustration



## ➤ Régimes alimentaires et changement d'usage des terres : l'importance du cadre de modélisation

- Projet mené dans la cadre du métaprogramme INRA – CIRAD GloFoodS
- Comparaison des impacts sur l'usage des terres de 4 hypothèses d'évolution des régimes alimentaires simulées avec 3 modèles différents
- Analyse de la sensibilité des résultats au modèle utilisé



## ➤ Régimes alimentaires et changement d'usage des terres : l'importance du cadre de modélisation

- **Régimes alimentaires en 2050: 4 hypothèses contrastées**

**FAO:** Business-as-usual (Alexandratos and Bruinsma 2012)

**Animp:** Plus riche en énergie, plus riche en produits animaux

**Ultrap:** Plus riche en énergie, plus riche en huile végétale, sucres, viande volaille

**Healthy:** Moins riche en énergie (pays dev. et émergents), plus diversifié, moins riche en produits animaux, plus riche en F&L, céréales secondaires, légumineuses

- **3 cadres de modélisation différent: 3 modèles mondiaux centrés sur agric.**

**MATSIM-LUCA:** équilibre partiel, marchés et échanges, technologies de production explicites, prix des intrants (y.c. terre) endogènes

**NLU (Nexus Land Use):** équilibre partiel, marchés et échanges, fonctions de rendement, minimisation du coût de production par région (pour une quantité donnée de calories), prix terre endogène, demande alimentaire exogène

**GlobAgri:** modèle de bilan de biomasse



## ➤ Régimes alimentaires et changement d'usage des terres : l'importance du cadre de modélisation

**Table 2. Change in world cropland area (from the reference year to 2050, million hectares)**

Models	GlobAgri	MATSIM	NLU
<b>Scenarios</b>			
Animp	+406	+76	+634
FAO	+189	+113	+436
Healthy	+101	+148	+75
Ultrap.	-22	+146	+290

**Table 3. Change in world pastureland area (from the reference year to 2050, million hectares)**

Models	GlobAgri	MATSIM	NLU
<b>Scenarios</b>			
Animp	+4055	+430	-327
FAO	+1995	+350	-129
Healthy	+608	+291	+230
Ultrap.	+243	+343	+17

- **Classement des scénarios selon GlobAgri**

**Animp:** le plus riche en énergie et en produits animaux, le plus gourmand en terre

**FAO:** moins gourmand en terre car moins riche en produits animaux

**Ultrap:** au même niveau que Animp et FAO pour l'énergie mais plus riche en produits très performants en termes de calories/ha, le moins gourmand en terre

**Healthy:** moins riche en énergie (pays dev. et émergents), moins riche en produits animaux (sauf pays en dévpt), plus riche en produits peu performants en termes de calories/ha, moyennement gourmand en terre

- **Classement des scénarios selon MATSIM-LUCA**

**Même classement que GlobAgri pour les surfaces en prairies permanentes :** rendement herbe insensible aux prix

**Classement quasiment inverse pour les surface cultivées :** rendements des cultures très sensibles aux prix

- **Classement des scénarios selon NLU**

**Même classement que GlobAgri pour les surfaces cultivées :** rendements des cultures moins sensibles aux prix

**Classement quasiment inverse pour les surface en prairies permanentes :** parts élevage extensif/intensif très sensibles aux prix



## ➤ 4. Conclusion



## > Usages

- Les processus modélisés : balances et transformations linéaires => avant tout mise en cohérence d'hypothèses
- Hypothèses exogènes sur les coefficients
- Usages nombreux
  - données de référence
  - Illustrations de prospectives
  - Evaluer des leviers sur les techniques et les usages
  - calcul de coefficients par produit/régions
- Pas adapté pour modéliser des choix d'agents, des effets systémiques, des effet rebonds, les conséquences de politiques

