



International Institute for
Applied Systems Analysis
www.iiasa.ac.at

*Journée Exploration, calibration et validation de modèles numériques
complexes pour l'environnement, Paris, 30 juin 2016*

science for global insight

Calibration des flux bilatéraux de commerce dans un modèle d'équilibre partiel mondial et modélisation de la deforestation future

Mosnier A., Havlik P., Valin H., Frank S., Obersteiner M.
et al.



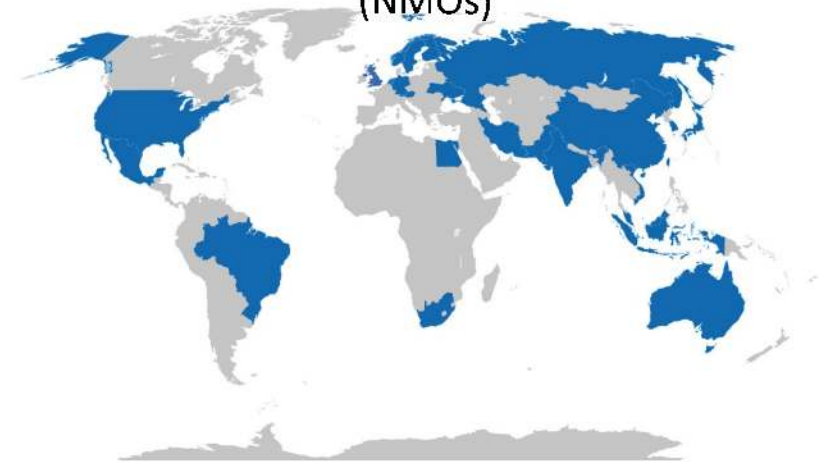
IIASA, International Institute for Applied Systems Analysis

IIASA

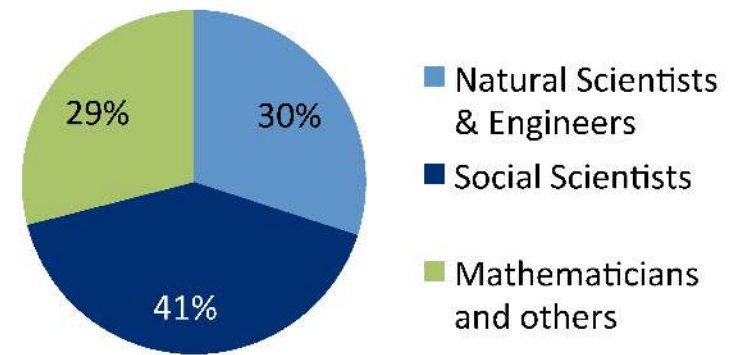
- ▶ Créé en 1972 en plein guerre froide: « la diplomatie à travers la science »
- ▶ Organisation non gouvernementale avec 24 organisations nationales membres
- ▶ ~200 Chercheurs de différentes disciplines et différentes nationalités
- ▶ Construction et exploration de modèles de systèmes socio-économiques et environnementaux complexes afin de répondre aux défis mondiaux

➔ **IIASA est très impliqué dans les travaux du GIEC sur le changement climatique.**

24 Organisations Nationales Membres (NMOs)



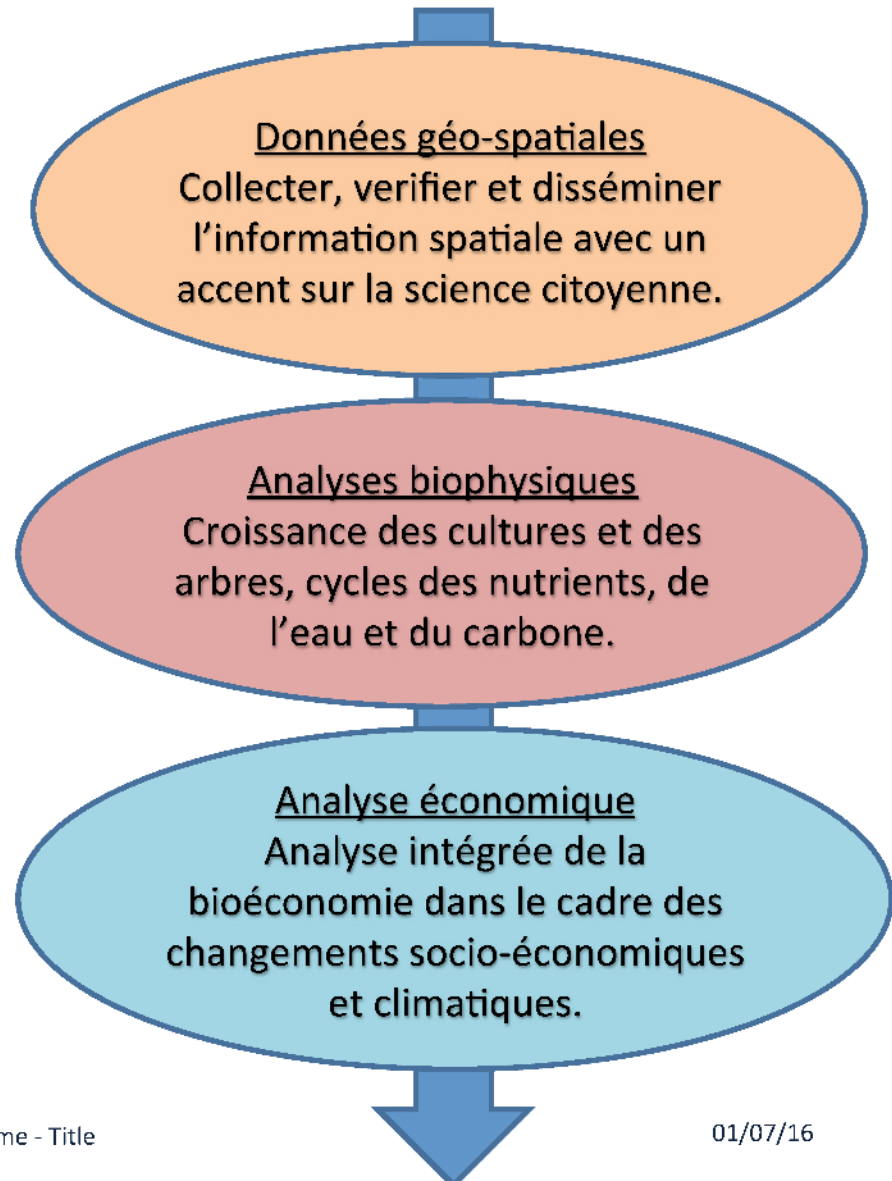
Des équipes inter-disciplinaires



Le programme ESM

- Le but stratégique d'ESM est le soutien à la décision politique sur la base des résultats scientifiques.
- Définir des stratégies pour la production de nourriture, de bois et de bioénergie tout en préservant les écosystèmes.
- Le plus gros programme d'IIASA >50 chercheurs.
- Principalement financé par des projets externes.

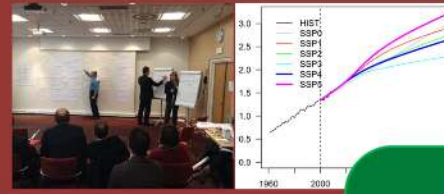
➔ **Comment les terres sont et seront utilisées dans le monde, pour quel niveau de production et quels services écosystémiques?**



Le groupe ERD

- ▶ Principal objectif du groupe est l'analyse intégrée de la bioéconomie dans le cadre des changements socio-économiques et climatiques
- ▶ L'outil principal du groupe est le modèle GLOBIOM, un modèle mondial d'équilibre partiel qui couvre les secteurs agricoles, forestiers et des bioénergies
- ▶ ~20 chercheurs

Scenarios and foresight



A quoi ressemblera le future?

Comment réduire les émissions futures ?

Climate change mitigation



Climate impacts and adaptation



Quels pourraient être les impacts du changement climatiques et comment s'adapter ?

Quel impact du développement économique sur l'utilisation des terres et vice-versa?

Human dimension of development





International Institute for
Applied Systems Analysis
www.iiasa.ac.at

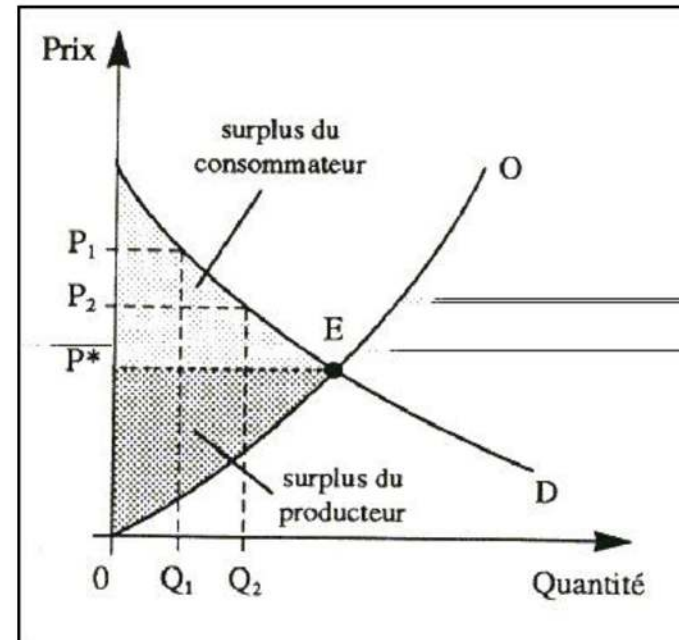
science for global insight

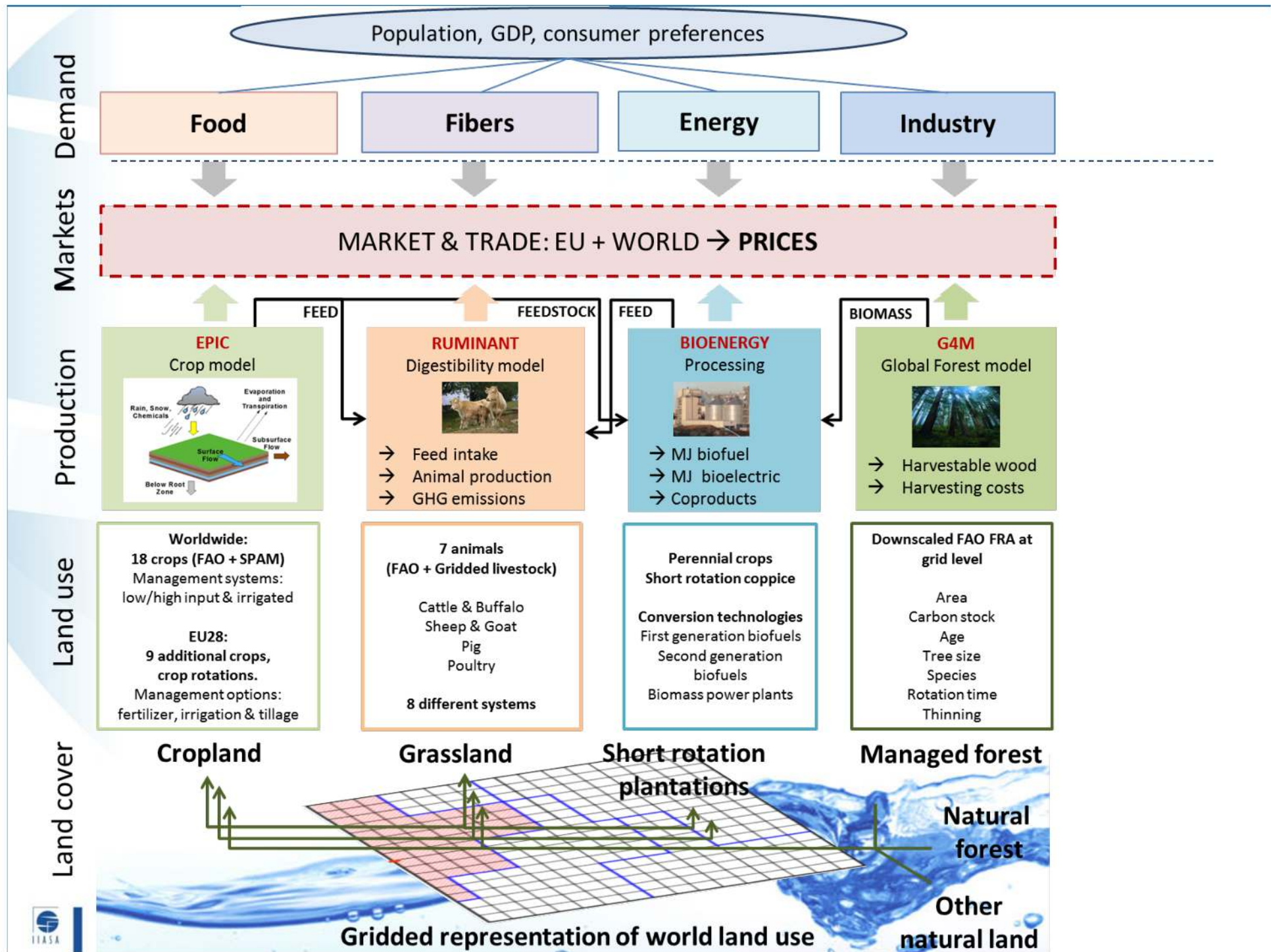
Le modèle GLOBIOM



GLOBIOM

- ▶ Année de base: 2000
- ▶ Modèle récursif-dynamique avec des pas de temps de 10 ans
- ▶ Horizon temporel: 2030, 2050, 2100
- ▶ Modèle d'optimisation où l'objectif est la maximisation du surplus des producteurs et des consommateurs
- ▶ Utilisation de GAMS avec le solveur Cplex (programmation linéaire)
- ▶ Fonctions non-linéaires linéarisées





Principales contraintes

Equilibre du marché:

$$(1) D_{i,t,p} - \sum_j X_{i,j,t,p} + \sum_j X_{j,i,t,p} = \sum_g A_{i,t,g,l,p,m} \cdot Y_{i,g,p,m}$$

Equilibre entre certaines utilisations des terres et un certain type de couvert végétal:

$$(2) \sum_{p,m} A_{r,t,g,l,p,m} \leq L_{r,t,g,l}$$

Les surfaces en terres sont fixes:

$$(3) L_{i,t,g,l} \leq L_{i,t,g,l}^{init} + \sum_{\tilde{l}} Q_{i,t,c,g,\tilde{l},l} - \sum_{\tilde{l}} Q_{i,t,c,g,l,\tilde{l}}$$

Après chaque période les quantités de départ sont réactualisées:

$$(4) L_{i,t,c,g,l}^{init} = L_{i,t-1,c,g,l}$$

Indices

t : période de 10 ans

i, j : région

g : unite spatiale

p : produit,

l : couvert végétal

m : type de gestion

Variables

D : demande finale

X : flux de commerce

A : surface utilisée

terres

L : surface par couvert

végétal

Q : surface qui est

convertie dans un autre

type de végétation

Paramètres

Y : productivité des

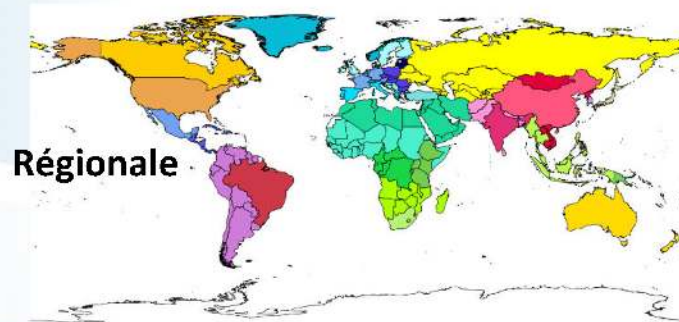
Linit : surface par couvert

végétal en début de

période

Données d'entrée et données de sortie du modèle GLOBIOM

Echelle

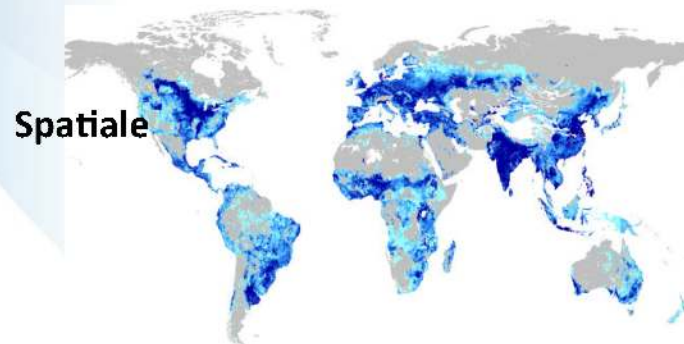


Données d'entrée

- Population et PIB
- Utilisation de bioénergies
 - Régime alimentaire
- Coûts et coefficients de transformation
- Coûts de transport internationaux et tarifs

Données de sortie

- Prix (\$)
- Consommation (tonne ou calories)
- Quantités transformées
- Flux bilatéraux de commerce (tonne ou m³)

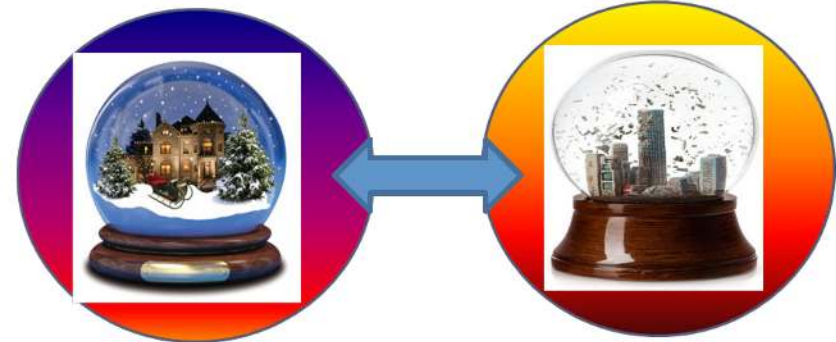


- Productivité des terres pour les cultures, l'herbe, le bois (tonne ou m³)
- Besoins en intrants (N, P)
 - Stocks de carbone (C)
- Coûts de production (\$)
- Coûts de transport internes (\$/tonne ou m³)
- Utilisation des terres en 2000 (ha)

- Utilisation des terres (ha)
- Conversion des terres (ha)
- Production (tonne ou m³)
 - Utilisation d'intrants
- Emissions GES (CO₂, CH₄, N₂O)

Importance du commerce

- ▶ Tous les pays sont aujourd'hui intégrés à des degrés différents dans l'économie mondiale.
- ▶ Si on se place au niveau des décideurs politiques d'un pays:
 - ▶ quels peuvent être les impacts des changements qui sont anticipés dans les autres pays pour mon pays?
 - ▶ quels peuvent être les impacts des changements qui sont anticipés dans mon pays sur les autres pays? Ex:



Ex: augmentation de la consommation de viande en Chine, changement technologique dans les pays en développement, ...

Ex: politiques d'atténuation du changement climatique, mise en place d'une taxe dans un secteur, politique commerciale, ...



International Institute for
Applied Systems Analysis
www.iiasa.ac.at

science for global insight

Calibration du modèle



Difficultés pour modéliser le commerce

- ▶ Objectifs
 - ▶ Reproduire les flux de commerce actuels
 - ▶ Améliorer les prédictions d'évolution des flux de commerce dans les prochaines décennies

- ▶ Solutions
 - ▶ Introduire des coûts au commerce hétérogènes entre régions et produits
 - ▶ Utiliser les flux de commerce bilatéraux observés pour calibrer le commerce dans l'année de base

- ▶ Difficultés
 - ▶ Large dimension des bases de données sur le commerce international
 - ▶ Manque de cohérence entre les données de production et consommation et les données de commerce
 - ▶ Erreurs de mesure et/ou manque de données
 - ▶ Correspondance entre différentes nomenclatures (HS6 vs FAO)

Difficultés pour modéliser le commerce

- ▶ Les modèles d'équilibre spatial reposent sur l'hypothèse de bien homogène: les consommateurs ne font pas la différence entre les biens importés et les biens produits localement
 - ▶ Un seul prix par produit par région
 - ▶ La différence de prix entre régions qui commercent est seulement expliqué par les coûts du commerce



→ Nécessité d'harmoniser les prix, les coûts au commerce et les flux de commerce de manière simultanée

Calibration du commerce

- ▶ Adaptation de la méthode de programmation à deux niveaux de Jansson and Heckelei (2009)

1. Inner Problem

$$\begin{aligned} \text{MIN} \quad & \sum_{ij} (co_{ij} + t_{ij}) \cdot x_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & e_i + \sum_j (x_{ij} - x_{ji}) = 0 \quad [p_i] \end{aligned}$$

$$x_{ij} \geq 0$$

$$\text{if } x_{o\downarrow ij} = 0, x_{\downarrow ij} = 0$$



$$p_i = p + [p_i]$$

Indices:

i,j: régions

Variables:

x: flux de commerce

c: coût de transport

[pi]: duale de la contrainte d'équilibre de marché

Paramètres:

co: données de coûts de transport

xo: données de flux de commerce

e: balance commerciale

t: tarif

p: prix d'une région

Calibration du commerce

2. Outer Problem

$$p_i = [p_i]$$

$$\text{MIN } (z + \text{pen})$$

$$z = w_c \sum_{ij} (c_{ij} - c_{o_{ij}})^2 + w_p \sum_i (p_i - p_{o_i})^2 + w_x \sum_{ij} (x_{ij} - x_{o_{ij}})^2$$

$$\text{pen} = \mu * \sum_{ij} (\pi_{ij} * x_{ij})$$

$$\text{s.t. } c_{ij} + t_{ij} - p_j + p_i = \pi_{ij}$$

$$e_i + \sum_j (x_{ij} - x_{ji}) = 0$$

Variables:

x: flux de commerce
estimé

p: prix estimé

c: coût de transport estimé

z: fonction objectif

π : doit être égal à 0 si x est
positif

Paramètres:

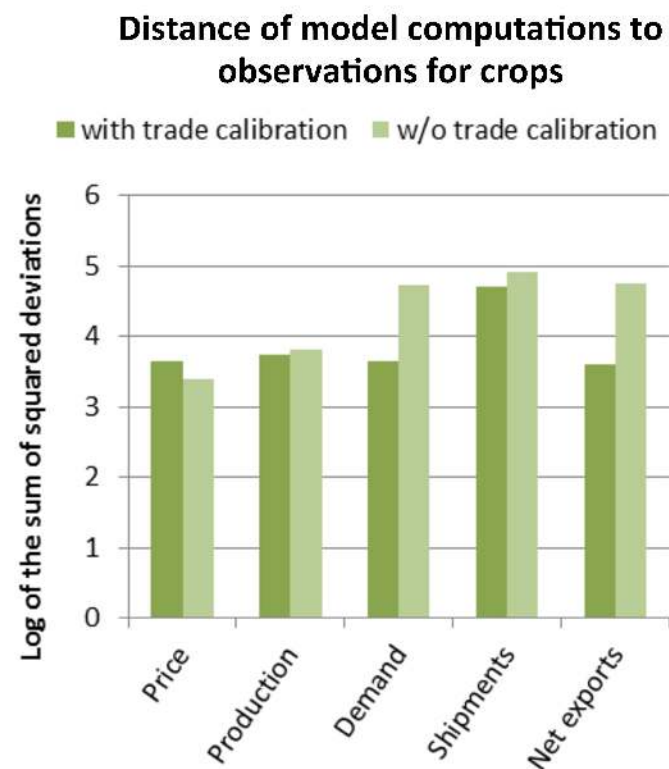
μ : pénalité

w: pondération des
différents éléments de la
fonction objectif

Calibration du commerce

- ▶ Comparaison des résultats du modèle avec les valeurs observées en 2000 avec et sans la calibration du commerce

	With trade calibration	W/o trade calibration
<i>Correlation coefficient</i>		
Total	0.68	0.27
Crops	0.66	0.28
Livestock products	0.98	0.10
<i>Match of computed trade flows with observed trade flows</i>		
Total	49%	10%
Crops	46%	11%
Livestock products	55%	6%



- ▶ La calibration du commerce améliore la capacité du modèle à reproduire les flux actuels de commerce mais aussi la demande et la production dans l'année de base. Par contre elle introduit des déviations plus grandes par rapport aux prix de départ.



International Institute for
Applied Systems Analysis
www.iiasa.ac.at

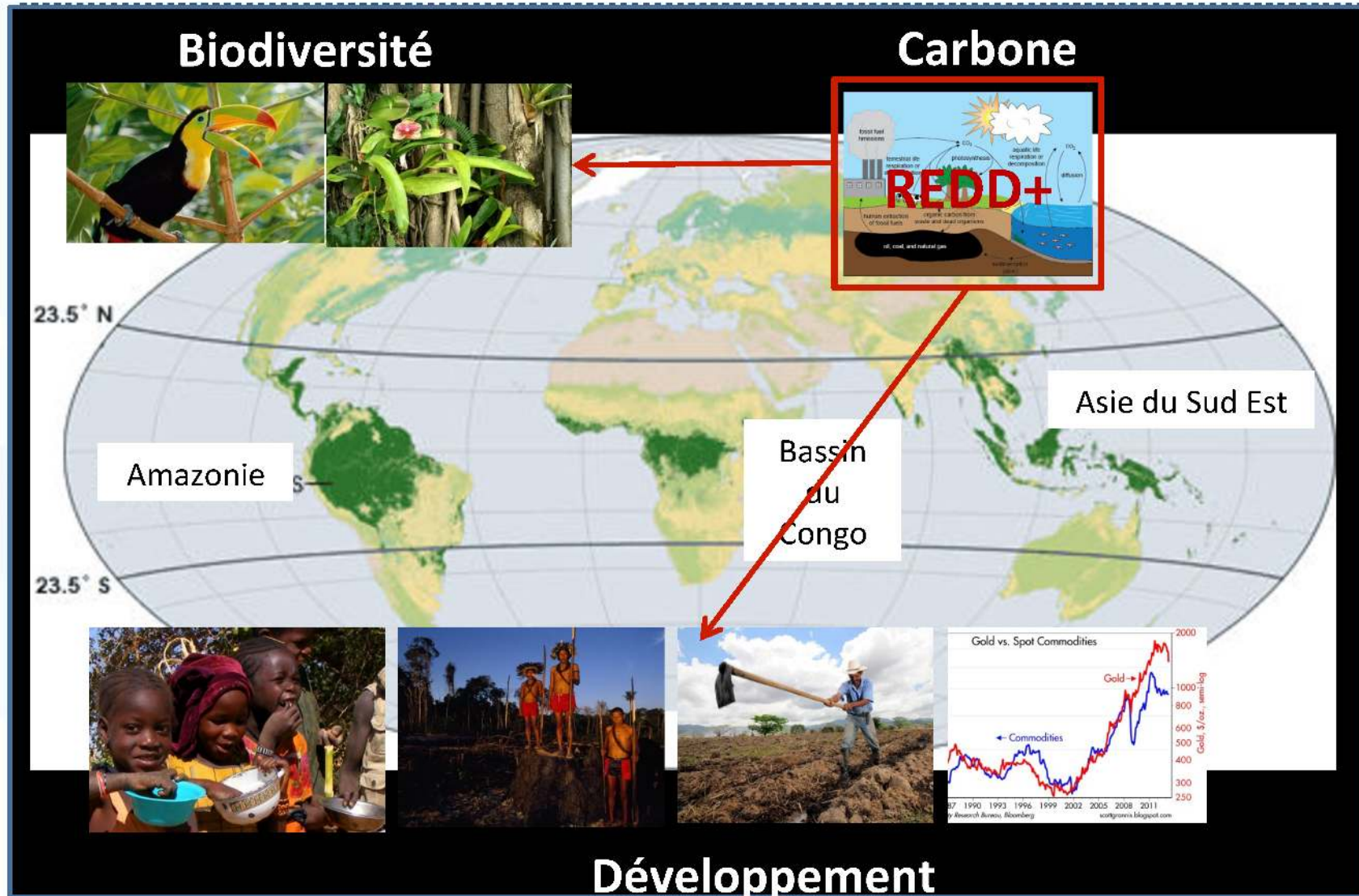
science for global insight

Application du modèle à la modélisation de la déforestation future

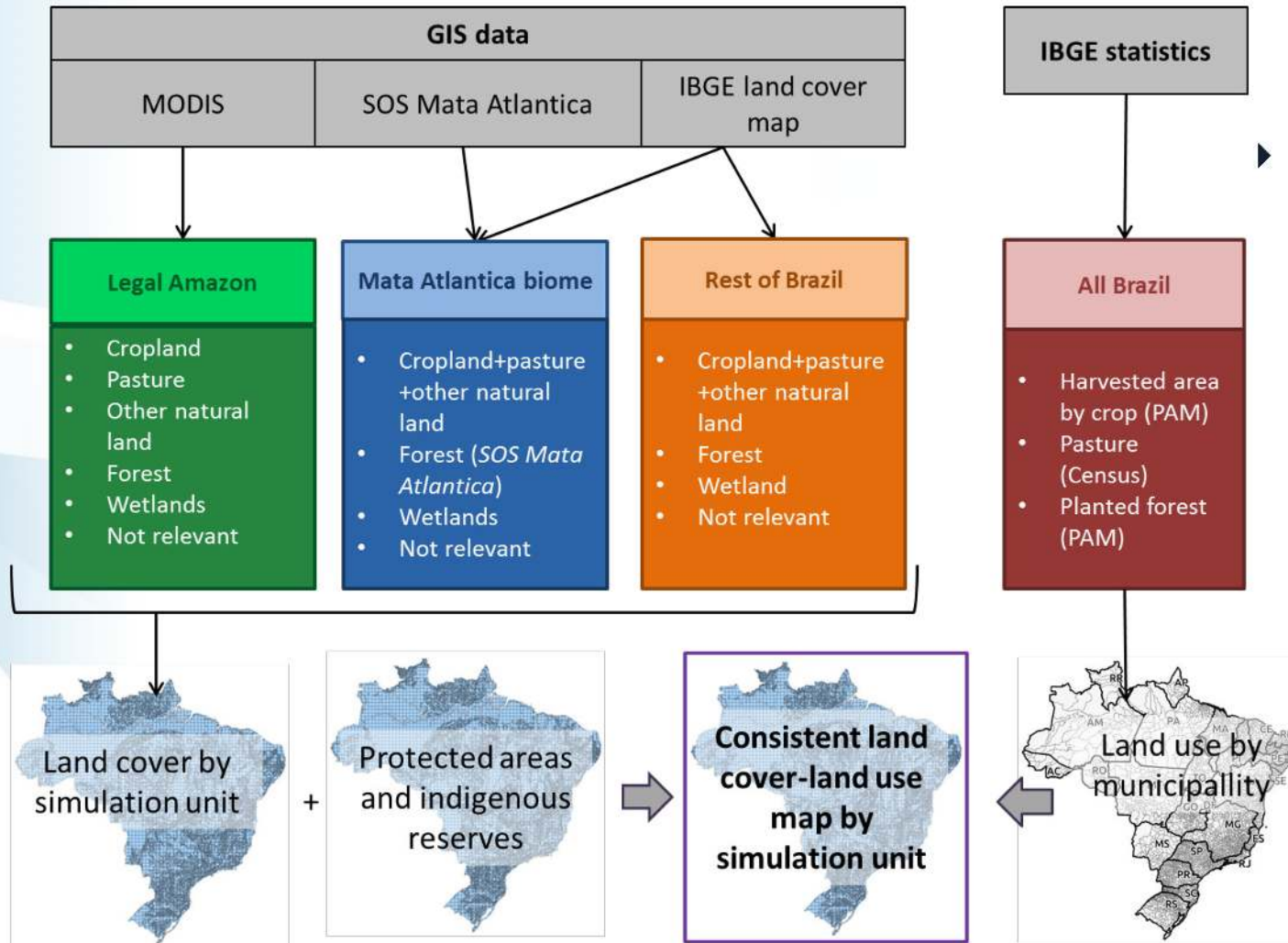
Brésil et Bassin du Congo



Analyse des arbitrages et des complémentarités entre plusieurs objectifs dans le cadre de REDD+



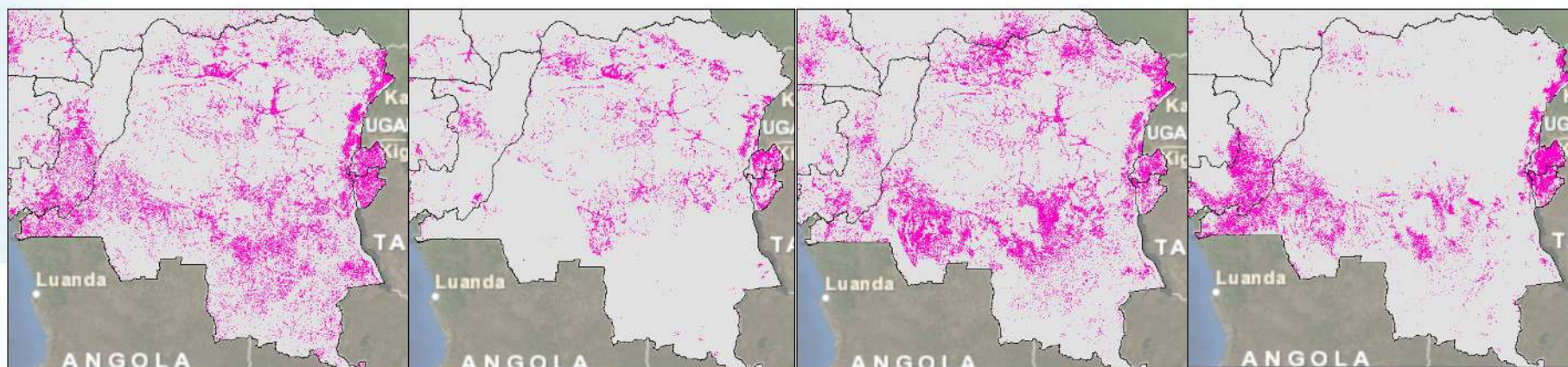
Une carte des utilisations des terres et de végétation harmonisée



► Pour cela on utilise:

- Des données satellite
- Des statistiques
- Des cartes de zonage (aires protégées, concessions, etc.)

L'incertitude sur les données d'entrée du modèle peut être grande...

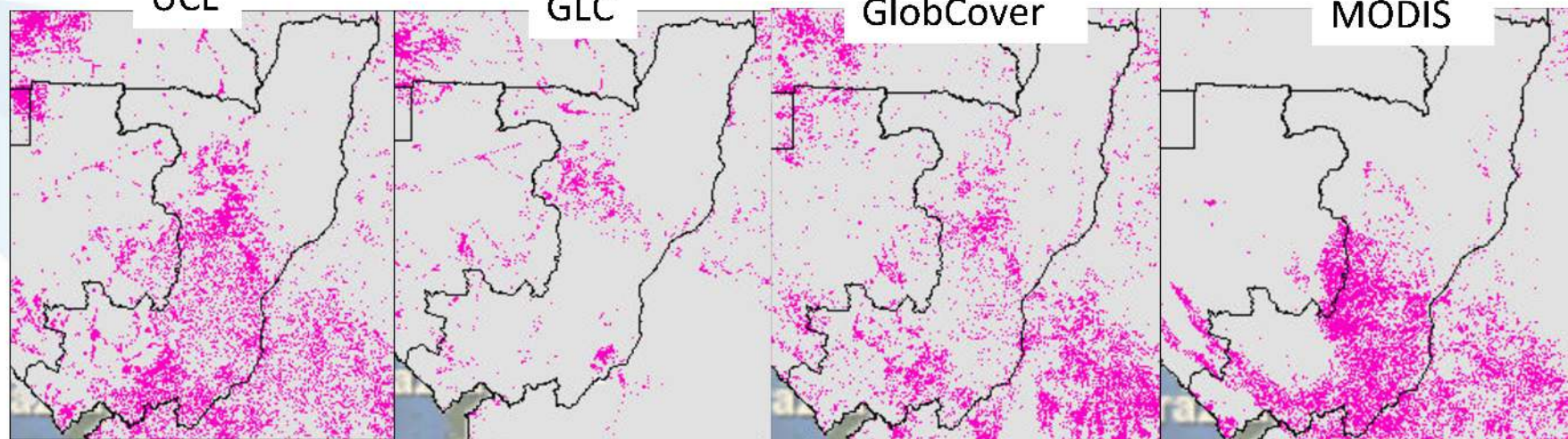


UCL

GLC

GlobCover

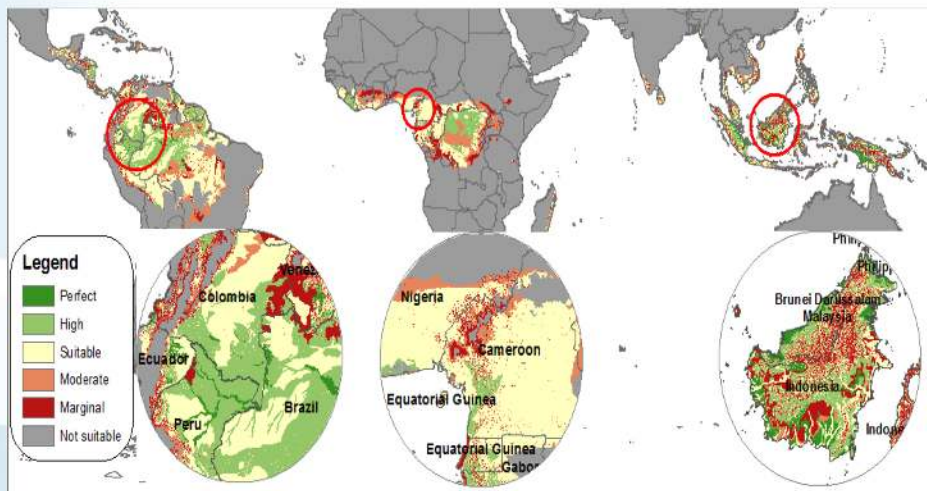
MODIS



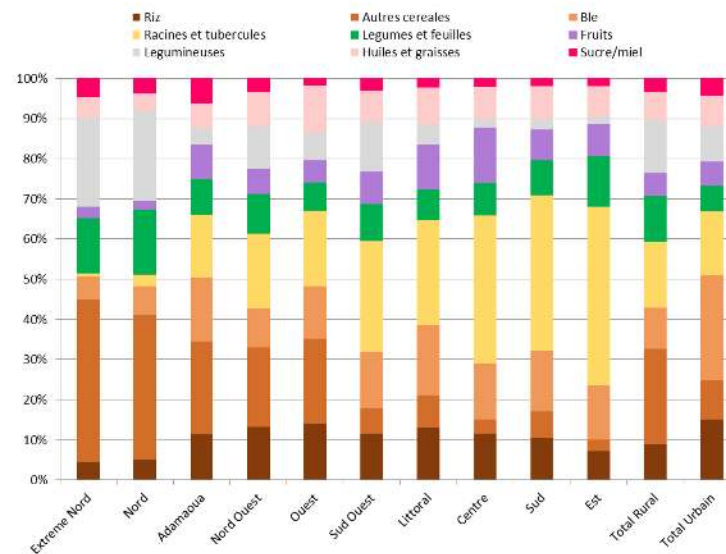
Distribution des terres arables en RDC et au Congo selon plusieurs cartes

Amélioration de l'information sur les moteurs de la déforestation

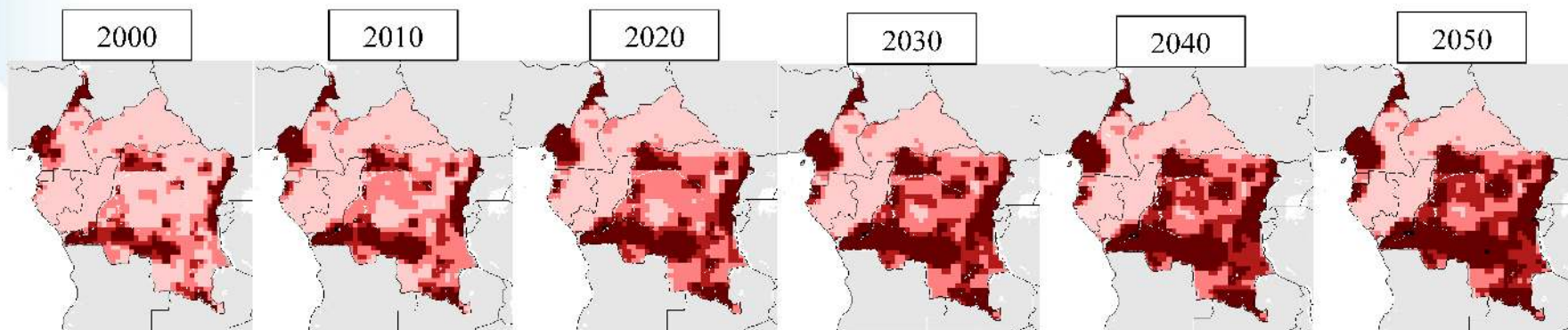
Potentiel du palmier à huile



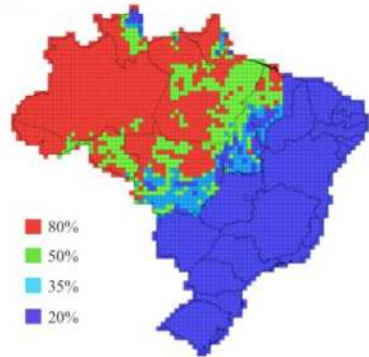
Profils de consommation alimentaire



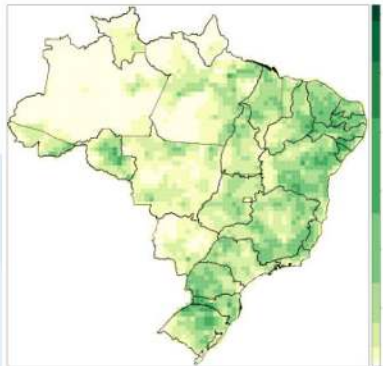
Densité de population



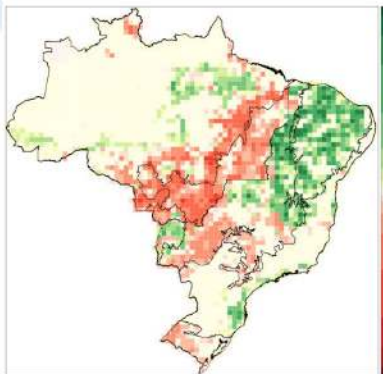
Représentation des politiques: le code forestier au Brésil



- ▶ **Réserves Légales (LR)**: une certaine part de la végétation naturelle doit être maintenue sur les propriétés privées



- ▶ **Exemption des petites exploitations agricoles (SFA)**: le propriétaire n'est pas obligé de restaurer les réserves légales qui ont été illégalement détruites avant 2008



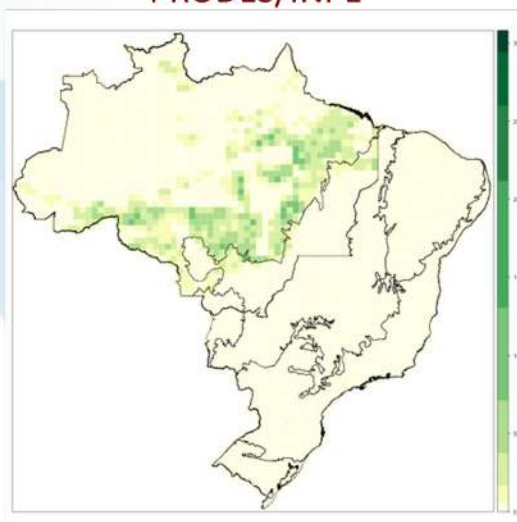
- ▶ **Le mécanisme de compensation des déficits (CRA)**: basé sur un titre légal échangeable de surplus de végétation naturelle afin de compenser les déficits dans certaines propriétés du même biome

Validation du modèle

2010 est la première période de simulation du modèle → permet de tester la capacité du modèle à reproduire les tendances observées entre 2000 et 2010

Déforestation

PRODES/INPE



16.53 Mha

GLOBIOM-Brazil projection



16.93 Mha

model produces consistent estimate of deforestation (2000-2010)

Agriculture

Surfaces cultivées [Mha]

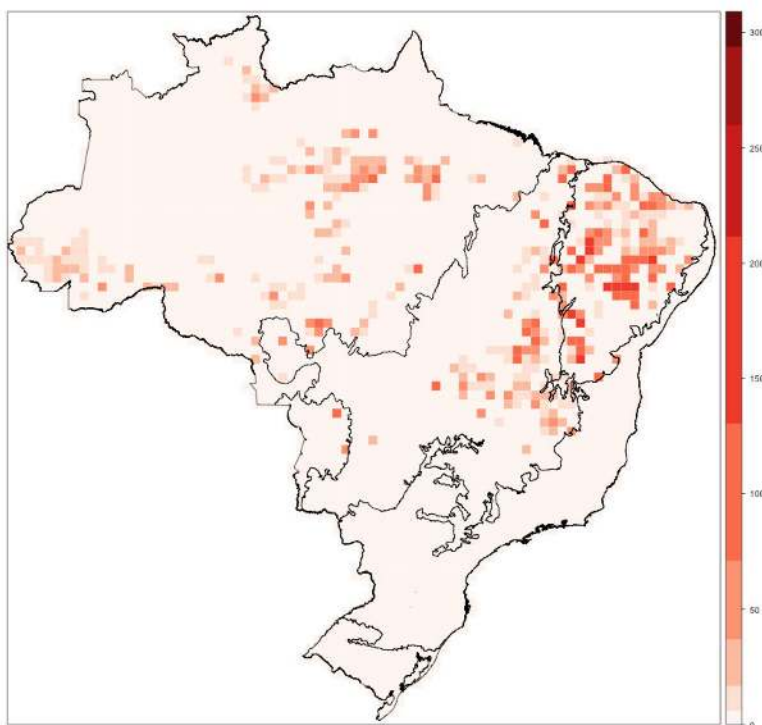
	2000	2010
IBGE	43	57
GLOBIOM Brazil	40	52

Elevage

2010	IBGE (MTLU)	GLOBIOM Brazil (MTLU)
Bovins	146.67	144.56
Ovins	2.67	2.57
Porcs	12.39	10.98
Poulets	9.74	10.77

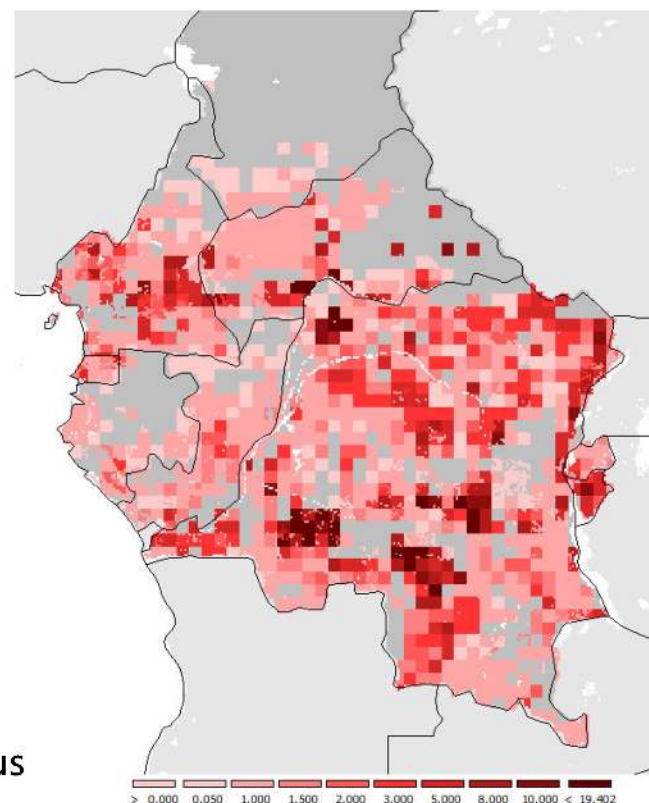
Déforestation future

- ▶ Déforestation cumulée au Brésil 2011-2030



Total avec respect du
code forestier : 14
millions d'hectares

- ▶ Déforestation cumulée dans le Bassin du Congo 2011-2010



RQ: La
déforestation
risqué d'être plus
élevée dans le
Bassin du Congo
qu'au Brésil dans
les prochaines
décennies

Total: 16.8 millions
d'hectares

Scenarios pour le Bassin du Congo

Scenarrio de base

Macro

- 197 millions d'habitants
- PIB: \$203 milliards en 2030

DFP

- Pas d'expansion de l'agriculture dans les aires protégées
- Pas d'expansion de l'agriculture dans les concessions forestières

Agriculture

- Pas d'augmentation des rendements agricoles

Autres Scenarios

Contexte socio-économique dans les pays de la COMIFAC

Macro +
+ 16 millions d'habitants
+ \$10 milliards de PIB en 2030

Macro -
- 15 millions d'habitants
- \$36 milliards de PIB en 2030

Le domaine forestier permanent (DFP)

AP Non

Expansion de l'agriculture possible dans les aires protégées

CF Non

Expansion de l'agriculture possible dans les concessions forestières

AP + Biod

Expansion des aires protégées jusqu'à 17% du territoire sur un critère biodiversité

AP + Carb

[...] jusqu'à 17% du territoire sur un critère de carbone

Le développement agricole

Rdmt +

Augmentation des rendements agricoles

Palm +

Objectif de 250 000 ha de palmiers à huile au Congo-Brazzaville et 300 000 ha au Cameroun en 2030

Analyse multi-objectifs

Rouge = entraîne une détérioration de l'objectif par rapport au scenario de base

Vert = entraîne une amélioration de l'objectif par rapport au scenario de base

	Développement économique et sécurité alimentaire		Atténuation du changement climatique		Conservation et usage durable de biodiversité	
	Calories produites par hab.	Importations nettes	Emissions totales	Emissions issues de la déforestation	Perte d'habitat des grands singes	Nombre d'espèces qui perdent > 10% de leur habitat
BASE	2303	-8009	11893	10095,0	4,8%	371
MACRO+	-2,7%	14,9%	12,8%	13,8%	13,1%	9,4%
MACRO-	-0,5%	-23,9%	-14,8%	-14,6%	-13,3%	-8,6%
AP Non	0,2%	-0,8%	4,3%	2,9%	10,5%	13,5%
CF Non	0,1%	-0,2%	12,3%	14,0%	11,7%	3,5%
AP+Biod	-3,3%	4,8%	7,0%	7,4%	-6,0%	-72,2%
AP +Carb	-2,3%	2,0%	-11,7%	-16,8%	-13,2%	-15,6%
RDMT +	19,6%	-25,8%	-30,6%	-32,1%	-26,1%	-15,1%
PALM+	2,6%	0,3%	1,9%	0,9%	2,1%	1,6%

Politique qui entraîne une amélioration de tous les objectifs peut être priorisée



International Institute for
Applied Systems Analysis
www.iiasa.ac.at

science for global insight

Conclusion



Conclusion

- ▶ Temps de calcul raisonnable du modèle (~15mn pour une période)
- ▶ Problème de l'absence de données ou données de mauvaise qualité, notamment dans les pays en développement → des hypothèses simples sont souvent meilleures
- ▶ Le travail de mise en cohérence des données par rapport aux hypothèses du modèle peut être long et pour le moment cela est fait par étapes avec des méthodes différentes pour chaque étape → possibilité d'utiliser des techniques statistiques plus efficaces
- ▶ Prise en compte de comportements différents des agents en présence d'incertitudes/risque → développement en cours d'une version stochastique du modèle
- ▶ Analyse de sensibilité devrait être faite de manière plus systématique...



Merci!

Pour plus d'informations:
www.globiom.org

Contact: mosnier@iiasa.ac.at

