



Les recompositions de la modélisation Energie-Economie-Environnement face à la problématique climat: enjeux scientifiques et institutionnels

Christophe Cassen, CIRED

Séminaire ANR INNOX

6/02/2015

Préambule

- Le changement climatique, un problème global et multidimensionnel: environnemental, énergétique et de développement
- L'étude du changement climatique mobilise plusieurs communautés scientifiques :
 - climatologues, biophysiciens, économistes, énergéticiens, sociologues...
- Recours croissant à la modélisation de long terme:
 - Climatique (groupe I du GIEC)
 - *Energétique et technico-économique dans le cadre de la modélisation intégrée (groupe III du GIEC)*
 - *Quel impact l'intégration des enjeux climat a-t-elle eu sur les modèles existants?*
 - *Quels ont été les facteurs qui ont favorisé l'apparition de communautés de modélisation? Avec quel objectif?*

Plan de la présentation

- Aux origines de la modélisation Energie-Economie-Environnement (E3)
- Emergence de la problématique climat et développement de la modélisation hybride
- Structuration de la communauté des modélisateurs intégrés autour de la production de scénarios pour le groupe III du GIEC

Aux origines de la modélisation Energie- Economie- Environnement

Un contexte porteur pour l'émergence de modèles globaux (années 1970)

- Le rapport du Club de Rome (Meadows, 1972)
 - Première tentative de modélisation mathématique de la croissance sur le long terme à l'échelle globale (modèle WORLD)
 - Suscite de nombreux débats: critique des économistes et des spécialistes du développement
- La crise énergétique des années 1970
 - Remet en cause les résultats des modèles de prévision
 - Inquiétude autour de la vulnérabilité énergétique des économies

Un nouvel agenda pour la modélisation

- Exploration de nouvelles problématiques
 - Les incertitudes (ressources, progrès technique, croissance...) et le long terme (XXIe siècle)
- Rupture avec l'approche prévisionniste
 - Développement de l'approche prospective fondée sur la production de scénarios multiples
 - Grands exercices prospectifs: Herrera/Bariloche, Mesarovic Pestel, Leontief, Interfutur...
- Développement de modèles globaux avec dominante énergétique ou économique
 - Base pour les futurs modèles d'évaluation des enjeux climat

Apparition de la problématique climat et
développement de la modélisation hybride
(depuis 1990)

Quelques dates clés

- 1988: lancement du processus des négociations climat et création du GIEC (IPCC)
- *1990: 1^{er} rapport du GIEC (AR1) et premières évaluations économiques (groupe III)*
- 1992: Convention Cadre sur les changements climatiques (Rio)
- *1995: 2^e rapport du GIEC (AR2)*
- 1997: Protocole de Kyoto
- *2001: 3^e rapport du GIEC (AR3)*
- *2007: 4^e rapport du GIEC (AR4)*
- 2009: COP15 à Copenhague
- *2014: 5^e rapport du GIEC (AR5)*
- 2015: COP21 à Paris (vers un nouvel accord global climat?)

Les enjeux que pose le changement climatique aux décideurs et aux modélisateurs

- Coût des impacts du changement climatique
- Tempo de l'action (agir vite ou reporter l'action?)
- Comment réduire les émissions (au niveau de l'offre, de la demande)? Quel mix énergétique? A quel coût?
- Co-bénéfices et effets adverses induits des politiques climatiques : commerce international/compétitivité des entreprises, sécurité énergétique, santé

Les nouveaux développements en matière de modélisation face à l'enjeu climatique (90's)

- Des pionniers :
 - William Nordhaus (Yale), Alan Manne (Stanford), R G Richels (EPRI/MIT), John Reilly (MIT), Jae Edmonds (Battelle Institute/PNNL)...
 - Les Etats Unis au cœur des avancées dans le domaine suivie par l'Europe, le Japon (NIES) et l'Australie
 - Les pays du Sud sont en retrait
- Des modélisateurs au économiste et/ou ingénieur-physiciens
- Un développement très rapide des modèles
 - <5 modèles intégrés en 1990, 22 recensés dans l'AR2 (1995)
 - Commandes croissantes de la part des gouvernements et des organisations internationales (AIE, OCDE)
 - Les progrès exponentiels de l'informatique facilitent la production de scénarios

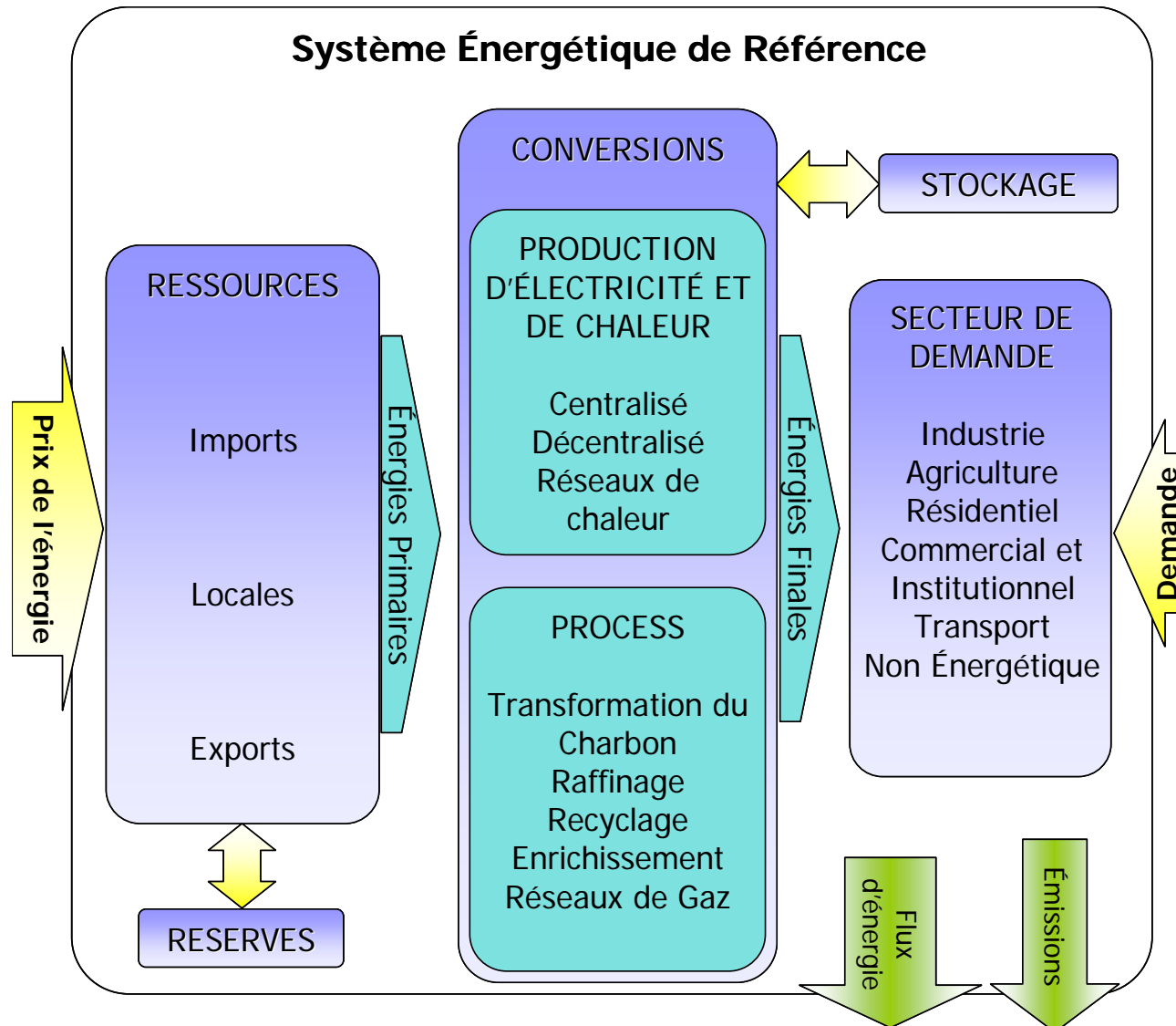
Recyclage des modèles existant et nouveaux développements

- Deux grandes familles de modèles mobilisés:
 - Les modèles BU ou modèles d'ingénieurs
 - Largement mobilisés au départ
 - Les modèles TD ou modèles d'économistes
- Deux grands modes de résolution:
 - Simulation (issu de la physique)
 - Optimisation (issu du calcul économique)
- Pas de révolution dans les modèles mais un glissement continu vers des modèles hybrides

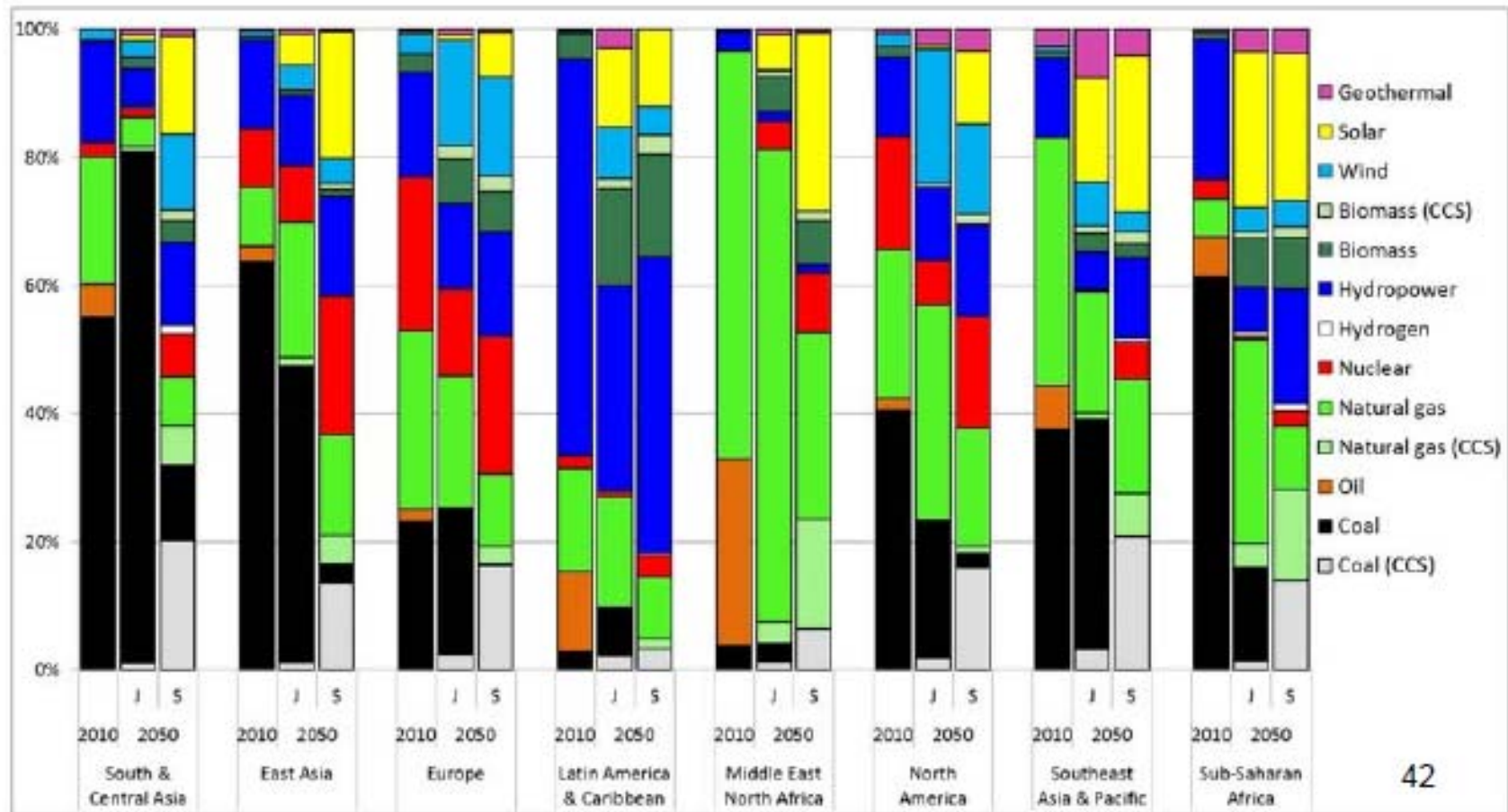
La modélisation *Bottom-up* : une vision d'ingénieur

- **Principe :**
 - Représentation fine du panier de technologies de production et transformation de l'énergie
- **Variantes:**
 - Optimisation intertemporelle (planification)
 - Simulations à partir de routines de comportement de certaines catégories d'acteurs ou de grandes variables économiques ou énergétiques
- **Atouts :**
 - Représentation détaillée des techniques existantes
 - Prise en compte des spécificités sectorielles (électricité)
- **Limites :**
 - Demande exogène ou simpliste (élasticité, module macro agrégé)
 - Pas d'analyse des rétroactions macro-économiques

Un exemple : MARKAL-TIMES



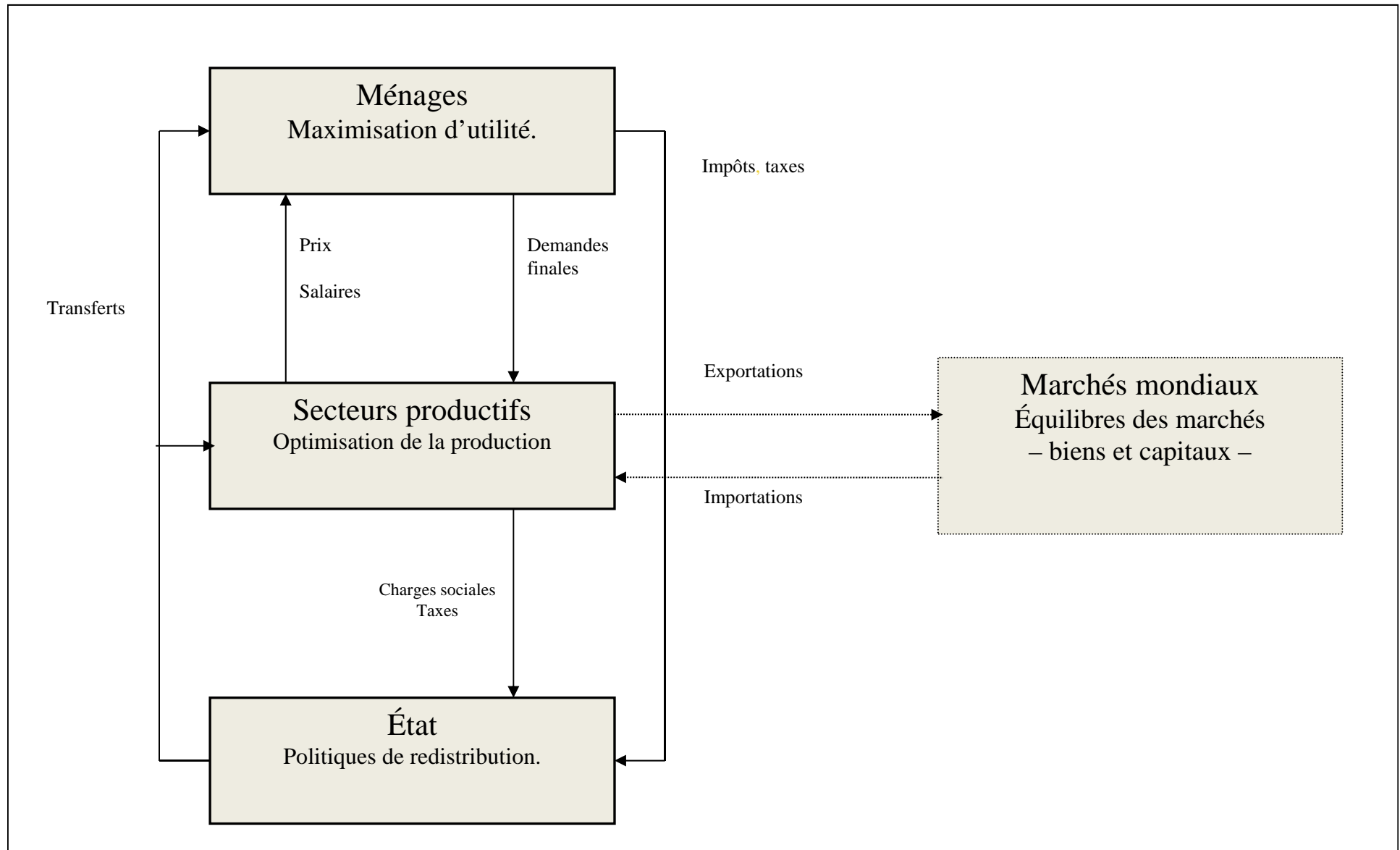
Modélisation Bottom up: résultats type



La modélisation *Top-Down* : modèles d'équilibre général multisectoriels

- **Principe:**
 - Représentation de l'ensemble des marchés et leurs interdépendances, ainsi que l'ensemble des équations de budget des agents représentatifs
- **Variantes :**
 - Modèle d'optimisation intertemporel
 - Modèles récursifs de simulation
- **Atouts :**
 - Effets d'équilibre général
 - Contraintes de financement, structures fiscales
 - Commerce international, balance des paiements
- **Limites :**
 - Fonctions de production et de consommation standard et agrégées.
 - Hypothèses simplificatrices (optimalité, anticipations rationnelles...)
 - Calibrage sur une seule année (*99,99% des modèles*)

La modélisation *Top-Down* : modèles d'équilibre général multisectoriels



Développement de la modélisation hybride....

- Clivage modèles BU/TD dans les premières évaluations de coûts des politiques climatiques:
 - Optimisme des modèles BU /Pessimisme des modèles TD
- À ne pas surestimer : importance des hypothèses et paramètres introduits dans le modèle

Développement de la modélisation hybride....

- Objectif (général): assurer la cohérence entre les expertises économiques et énergétiques
- Couplages entre modèles TD et BU se multiplient:
 - Plus grand réalisme technologique dans les modèles TD et bouclage macro-éco dans les modèles BU
 - Ex: MERGE-Macro (Stanford), Markal-Macro, Global 2100 (Stanford), puis IMAGE (PBL), MESSAGE (IIASA), REMIND (PIK), IMACLIM (CIRED)...
- Sous différentes formes: pseudo-hybride, *soft link*, *hard link*
- 2006: numéro spécial de la revue *Energy Journal* sur la modélisation hybride (coord Hourcade&al.)
- Un travail inachevé:
 - Peu de modèles hybridés au sens strict (IMACLIM, SIMS, EPPA, SGM)
 - Echec de la création d'une communauté

...et permanence des « tribus de modélisation »

	Bottom Up (modèles sectoriels, détails des technologies)	Top down (modèles globaux, effets de système)
Scénarios Exploratoires (simulation)	Simulation du système énergétique (ex. POLES, TIMER)	Equilibre général multisectoriel (ex. Green, SGM, EPPA, Gem-E3)
Scénarios Normatifs (optimisation)	Optimisation du système énergétique (ex. Markal, MESSAGE)	Croissance optimale (ex. DICE, RICE, DEMETER)

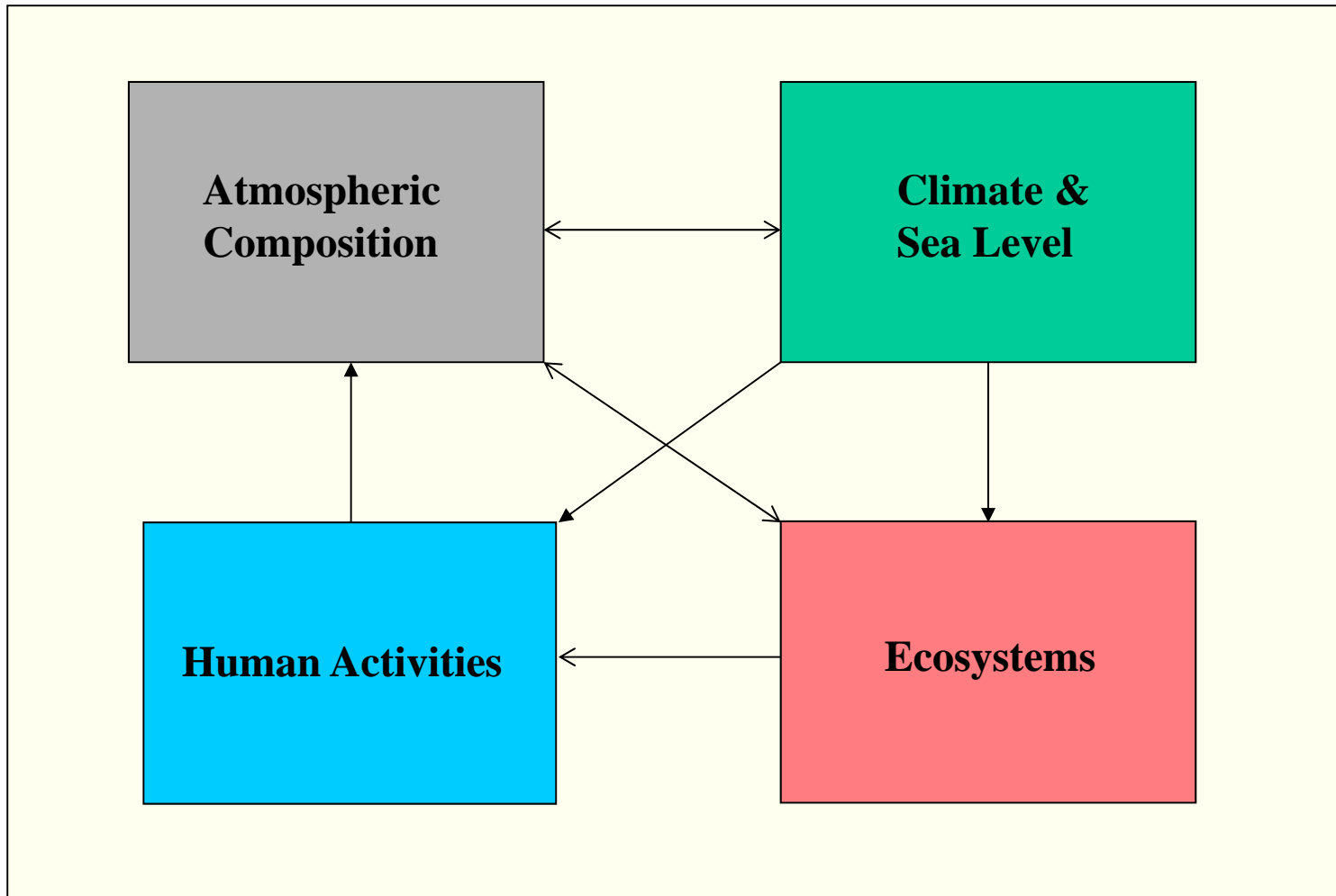
Source: Crassous, 2008

Structuration de la communauté des modélisateurs
intégrés autour de la production de scénarios pour le
groupe III du GIEC

Consolidation de la communauté des modèles intégrés (*Integrated Assessment*)

- Des modèles numériques interdisciplinaires capables d'analyser les interactions entre biosphère, énergie et économie :
 - Apparition avant l'émergence des enjeux climat (World 3 du Club de Rome, modèles de l'IIASA sur l'énergie (80's), RAINS appliqué aux pollutions atmosphériques)
 - Modèles DICE (Nordhaus, 1993) et Global 2100 (Manne & Richels, 1992) pionniers de l'intégration des enjeux climat suivi par AIM (NIES), MiniCam (PNNL), IMAGE (PBL), MESSAGE(IIASA)...
- La modélisation hybride alimente les efforts de développement des modèles intégrés (IAM)
- Une diversité de modèles et de degrés d'intégration: la communauté des IAMs recouvre une hétérogénéité de modèles !

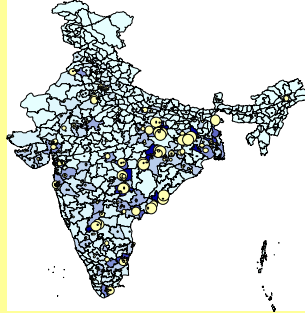
Architecture des modèles intégrés



AIM Model System

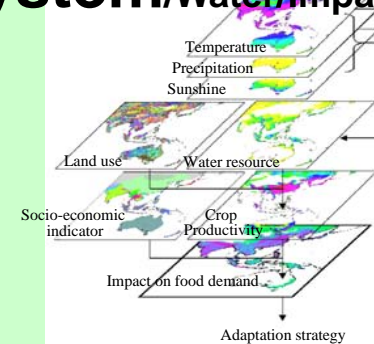
AIM/Energy/Technology/Country

A bottom-up technology selection model of energy use and emissions at country and local level



AIM/Ecosystem/Water/Impact

A set of ecosystem models, including a vegetation dynamics model, a water resource model, an agricultural productivity model and a health impact model



AIM/Bottom-up

A bottom-up technology & land use model for Asia-Pacific region

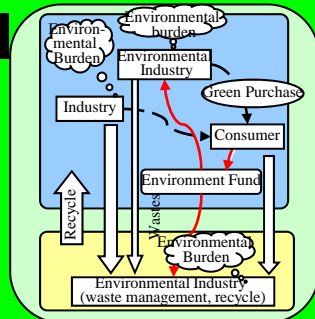
AIM Family

AIM/Top-down

A general-equilibrium-type world economic model

AIM/Material

A environment-economy integrated model with material balance and recycling process modules

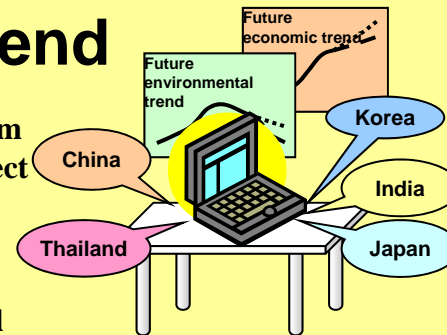


Technology assessment ↑ ↓ Technology needs

Research on new technologies

AIM/Trend

A reduced-form model to project future socio-economic trends and environmental change for all 42 countries



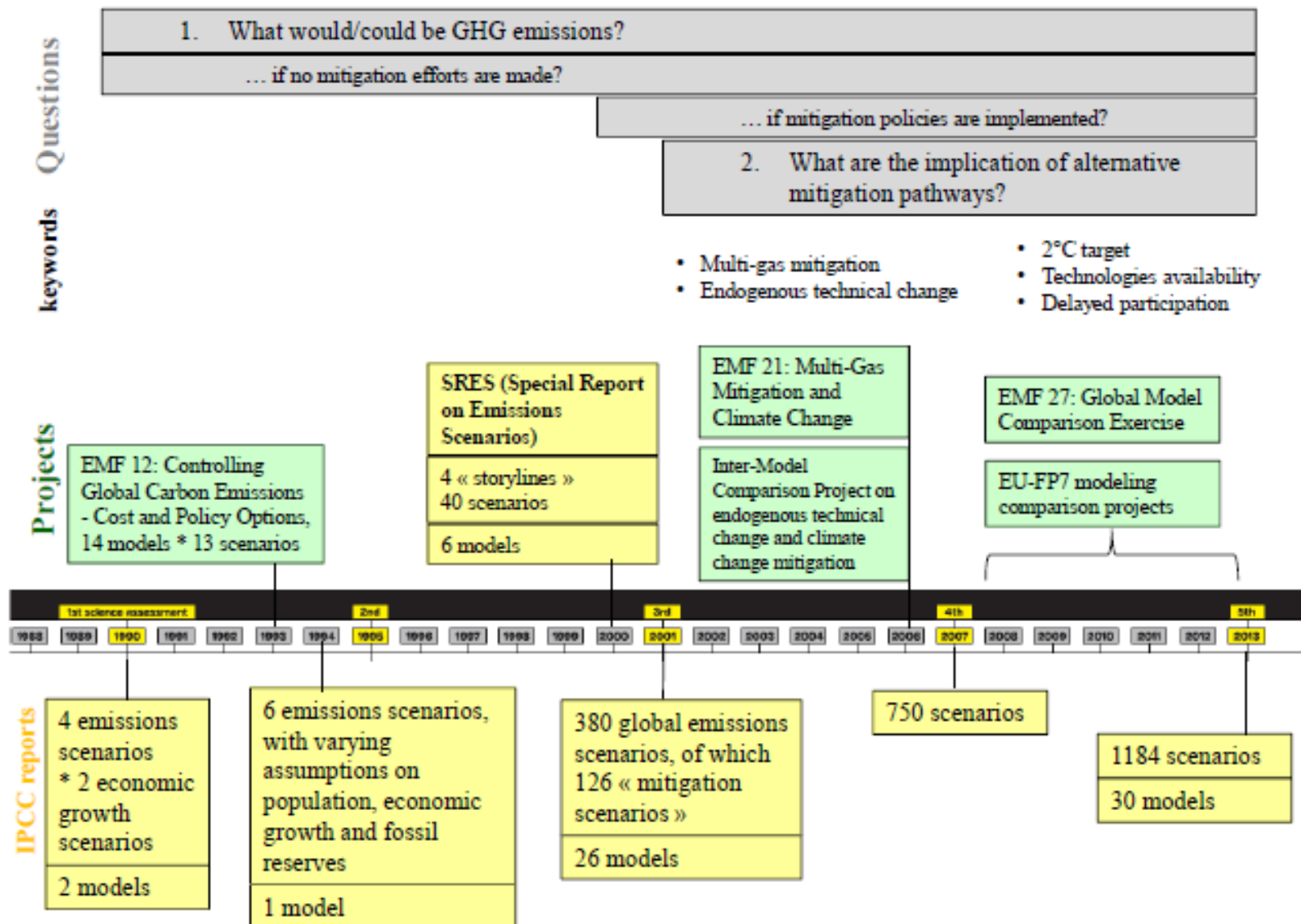
Structuration de la communauté des IAMs

- **Centres de recherche** : IIASA, Battele Institute, MIT, NIES + dans les années 2000: PIK, FEEM (Italy), Pacific Northwest Laboratory, CIRED, LEPII-EDEN etc...
- **Forums de modélisation** : EMF (*Energy Modeling Forum*), ETSAP (modèle Markal)
- **Exercices d'intercomparaison de modèles**: en particulier dans le cadre de l'EMF, AIE (International Energy Workshop) et des projets européens (7^e programme cadre EUFP7)

La montée en puissance des IAMs dans le cadre du GIEC

- **Focus sur la production de scénarios pour le groupe III du GIEC (évaluation des politiques climatiques)**
 - AR2 (1995): Workshops organisés par l'IIASA et l'IPCC (1992 et 1993), session spécial d'EMF (14) et 1 chapitre dédié
 - AR3 (2001): réalisation des scénarios *SRES*
 - AR5 (2014): création de l'IAMC en 2009
- **Un nombre croissant de modèles mobilisés**
 - 6 modèles dans l'AR2, 30 dans l'AR5
- **Une présence renforcée de l'Europe dans les années 2000:** PIK (Allemagne), FEEM (Italie), LEPII et CIREN (France)
- **Mais une différenciation entre les équipes leaders de communauté et les équipes périphériques**

Rôle majeur dans la production de scénarios socio-économiques du GIEC



L'Energy Modeling Forum

- Organisation de workshops autour des enjeux énergétiques depuis les années 1970 puis climat
 - sous la direction de John Weyant
- Rôle dans la structuration de la communauté:
 - Production de scénarios pour l'IPCC (exercices d'intercomparaison de modèles)
 - Moteur dans la réflexion sur la définition des scénarios IPCC: à l'origine de la création de l'IAMC (*Integrated Assessment Modeling Consortium*) en 2009

La montée en puissance de l'Europe dans la production de scénarios

- L'UE participe au renforcement de la modélisation technico-économique:
 - Soutien le développement modèles: POLES, GEMINI-E3 puis PRIMES
- Dans les années 2000, le 7^e programme cadre (EUFP7) finance des exercices d'intercomparaison de modèles dans le cadre de l'AR5 : AMPERE, LIMITS, ADAM, ROSE

Controverses au sein de la Communauté: bref aperçu (1/2)

- **Evaluation du coût du changement climatique**
 - Débats autour des résultats des analyses coûts-bénéfices (AR2):
 - incertitudes autour de la quantification des impacts et des hypothèses autour de certains paramètres clés (taux d'actualisation, valeur d'une vie humaine)
 - Evaluations coûts-efficacité privilégiées par la suite
- **Evaluation des coûts des politiques climatiques:**
 - Optimisme des modèles BU/pessimisme des modèles TD (AR2): quantification des « potentiels sans regret »
 - Evaluation de l'objectif 2°C avec la prise en compte des déséquilibres (AR5)

Controverses au sein de la Communauté: bref aperçu (2/2)

- **Tempo de l'action et prise en compte de l'incertitude (AR3)**
 - Débat autour de la décision séquentielle : *Early action vs delayed action*
 - Prise en compte des effets d'irréversibilités technologiques et du capital justifie une action précoce
- **Représentation du changement technique**
 - Induit (endogène) ou autonome (*mana from heaven*) ?
 - Vers une endogénéisation dans les modèles (AR4)

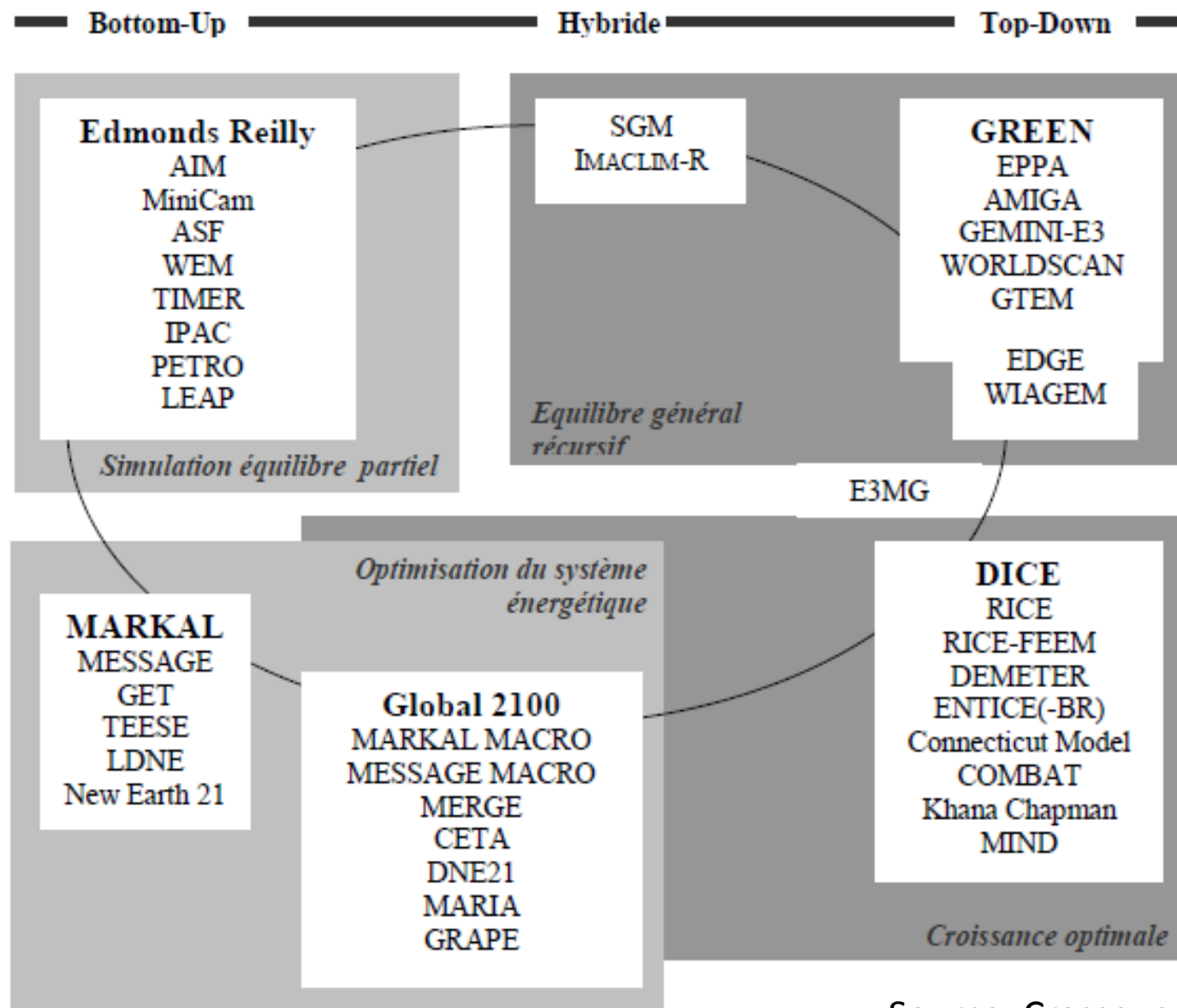
Conclusions et perspectives

- Une nouvelle génération de modèles apparaît à l'interface entre les modèles énergétiques et macro-économiques dans les années 1990 en capitalisant sur les modèles existants
- L'hybridation progressive des modèles participe à la montée en puissance de la communauté des modèles intégrés
- Cette communauté joue un rôle majeur dans la production des scénarios IPCC et dans le cadrage de l'agenda scientifique
- Les questions en suspens:
 - Nouvelles frontières de la modélisation intégrée en particulier dans le cadre des prochains scénarios du GIEC (SSP)
 - Fonctionnement spécifique aux différentes sous-communautés, interactions et analyse fine du fonctionnement des forums
 - Impact des contextes institutionnels nationaux sur l'organisation de la modélisation
 - Impact de la structuration de la communauté sur le cadrage de la question climat et articulation avec le processus des négociations climat

Merci !

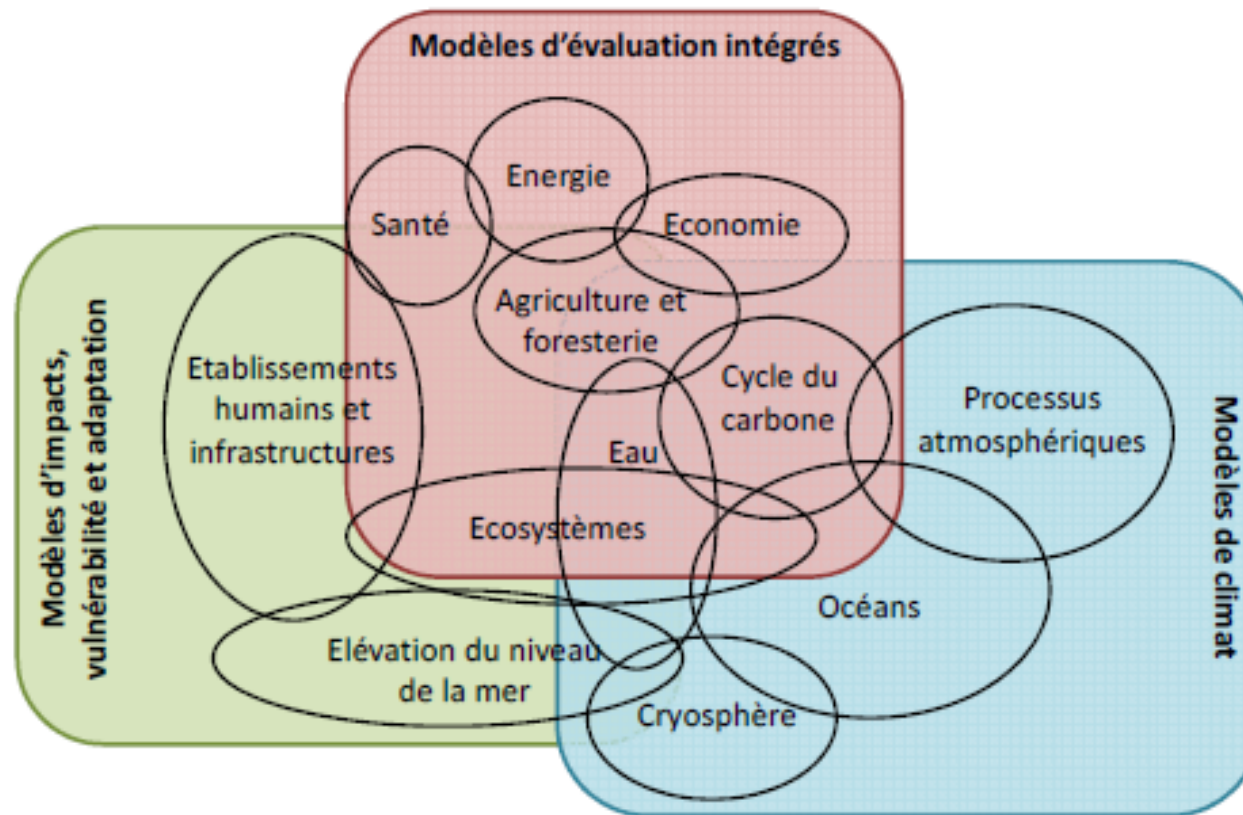
<http://www.imaclim.centre-cired.fr/>

Paysage des modèles



Source: Crassous, 2008

Paysage des modèles



Domaines de recouvrement des modèles mobilisés dans la communauté de recherche sur le changement climatique (adapté de Moss et al., 2010)