

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA MACROÉCONOMIE MAROCAINE À TRAVERS L'AGRICULTURE

Modélisation Stock Flux Cohérente (SFC) et changement climatique
5 Octobre 2021

Antoine Godin

Agence Française de Développement

■ Partenaires

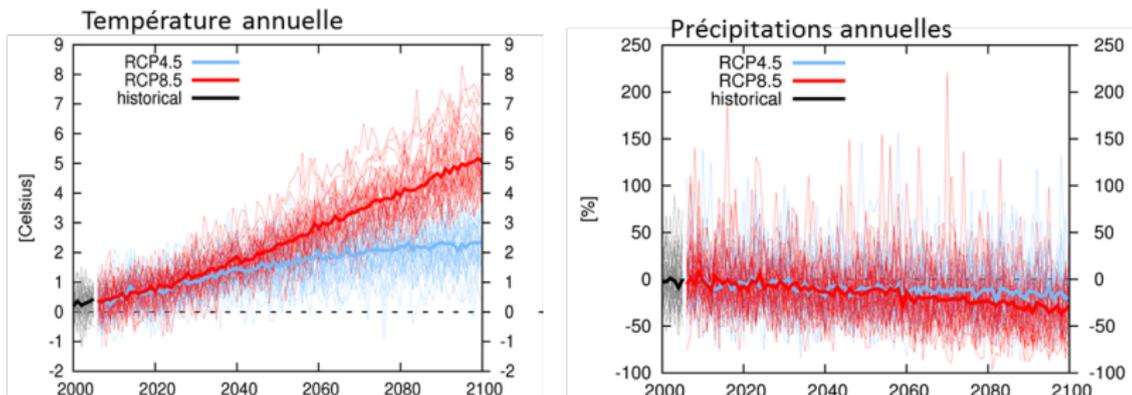
- Programme co-construite avec la Direction des Etudes et des Prévisions Financières (DEPF)
- Partenaires institutionnels au Maroc:
 - ▶ Direction de la Météorologie Nationale (DMN)
 - ▶ Département de la Recherche et de la Planification de l'Eau (DRPE)
- Partenaires académiques:
 - ▶ Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie (IMBE, Aix-Marseille)

■ Outline

- 1 Motivation et contexte
- 2 LPJmL et Couplage
- 3 Structure du modèle
- 4 Calibration et simulations
- 5 Simulations (en cours)

■ Contexte climatique: vers un climat marocain de plus en plus aride

- Tendances du climat marocain observées ces dernières décennies:
 - ▶ Hausse de la température, avec $+0.42^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ en moyenne depuis 1990
 - ▶ Déclin des précipitations
- Projections climatiques: renforcement des tendances



■ Structure du projet de recherche

- **Axe sectoriel/macroéconomique:** comprendre les mécanismes de transmission des chocs de stress hydrique sur l'agriculture vers l'économie marocaine.
 - ▶ Diagnostics passé/présent des impacts climatique sur l'agriculture et les secteurs connexes au niveau régional,
 - ▶ Construction des Tables Entrée-Sortie (TES) régionales
 - ▶ Intégration dans le cadre macroéconomique du modèle GEMMES.
- **Axe hydro-agricole :** réaliser des projections de la production agricole et de l'hydrologie de surface, comparer les besoins en eau pour l'agriculture marocaine (bour et irriguée) aux ressources qui seront effectivement disponible, à horizon 2050, dans un contexte d'aridification croissante. Simulations hydrologiques et agricoles avec un modèle intégré hydrologie-agriculture (LPJmL).

■ Outline

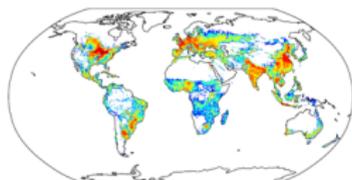
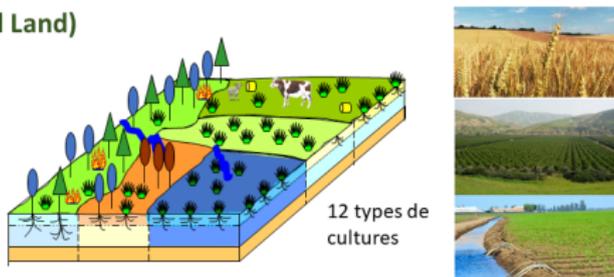
- 1 Motivation et contexte
- 2 LPJmL et Couplage**
- 3 Structure du modèle
- 4 Calibration et simulations
- 5 Simulations (en cours)

■ LPJmL - 1

LPJmL (Lund-Potsdam-Jena for managed Land)

LPJmL qu'est-ce que c'est ?

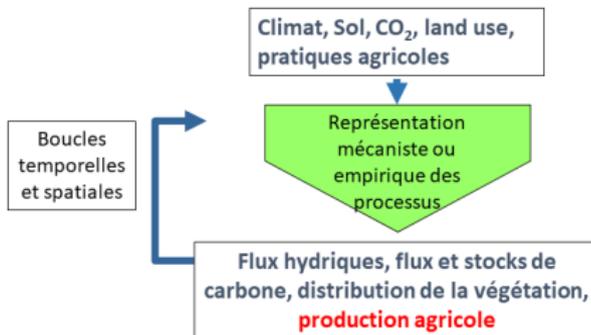
- a Dynamic Global Vegetation Model (DGVM)
- an agroecosystem model
- a global gridded crop model (GCM)
- a global hydrological model (GHM)



LPJmL4 crop production [kcal yr⁻¹]

20x10 20x10 40x11 40x12

Schaphoff et al. (2018)

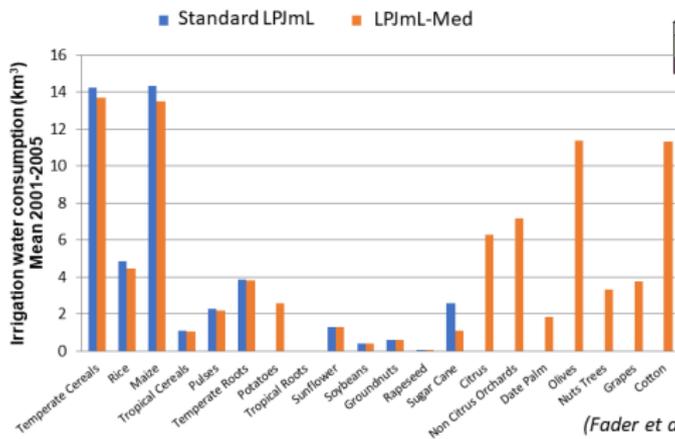
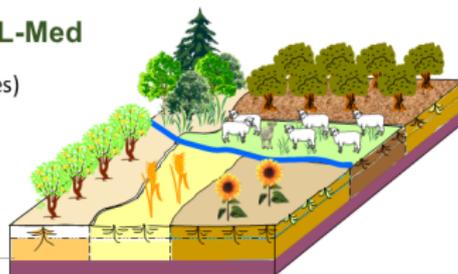


■ LPJmL - 2

LPJmL pour la région méditerranéenne: LPJmL-Med

10 types de cultures supplémentaires (dont les cultures pérennes)

=> 75% cultures méditerranéennes représentées, en particulier les cultures irriguées.

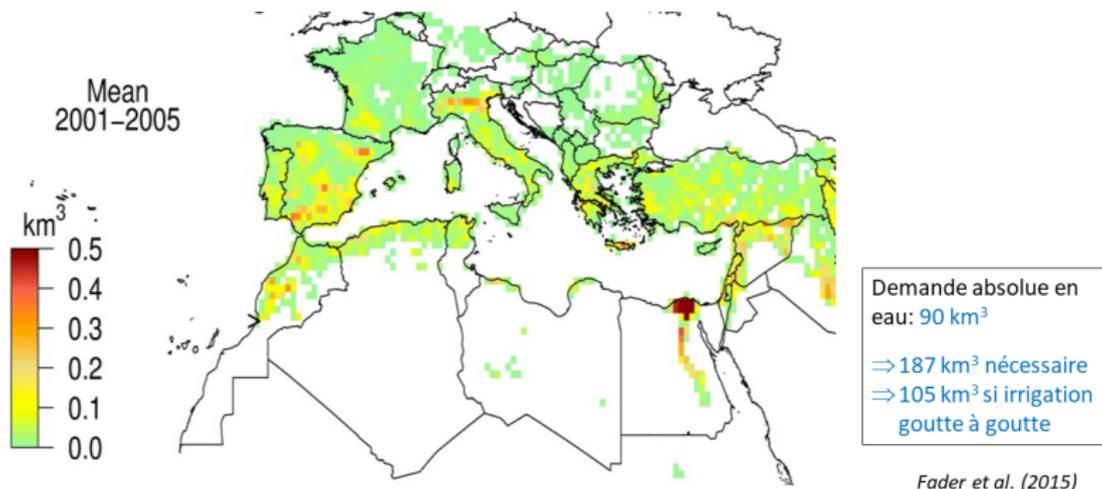


(Fader et al., 2015)

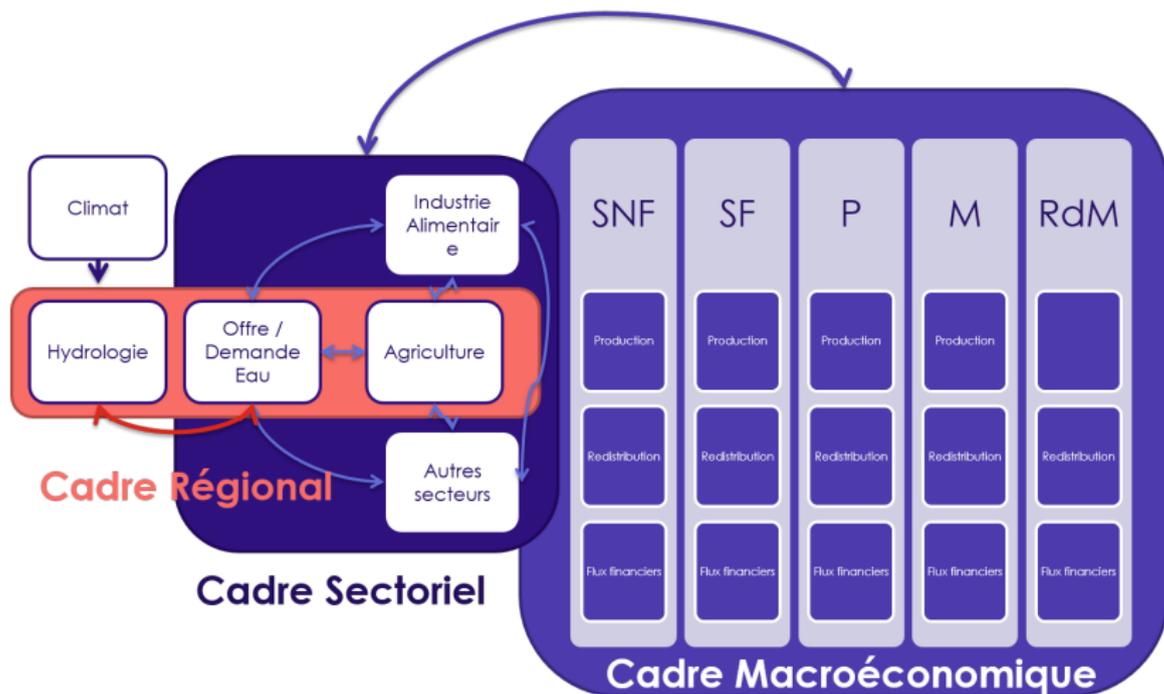


■ LPJmL - 3

LPJmL – Demande en eau pour l'irrigation



■ Couplage



■ Outline

- 1 Motivation et contexte
- 2 LPJmL et Couplage
- 3 Structure du modèle**
- 4 Calibration et simulations
- 5 Simulations (en cours)

■ Cadre conceptuel

- 6 secteurs, 5 biens et services
- Cadre comptable rigoureux avec équilibre emploi-ressource assuré et apuré différemment en fonction des biens.
- Détails sur les ressources et emploi des administrations publiques: différentes taxes, différentes dépenses.
- Régionalisation de la consommation pour ensuite déterminer off-line les impacts sur les productions régionales.

■ La structure de l'économie dans GEMMES

L'équilibre comptable du déséquilibre

- Les marchés sont caractérisés par des déséquilibres permanents, ce qui a donné lieu au fameux débat entre Marshall et Walras sur la force d'équilibre : Prix ou Quantité.
- Nous proposons que les processus d'ajustement des quantités et des prix fonctionnent en même temps avec des vitesses d'ajustement différentes.
- Essentiel de modéliser explicitement les deux processus d'ajustement puisque l'existence d'un attracteur à long terme du modèle et la dynamique de convergence vers cet attracteur en dépendront fortement.

■ Déséquilibre sur le marché des biens

- Apurement par les prix:

$$\dot{p} = \beta_P \cdot [AD(p) - AS(p)]$$

$$\lim_{B_p \rightarrow \infty} p = p^E, p^E \mid AD(p^E) = AS(p^E)$$

- Apurement par les quantités

$$Y^p = Y^e$$

$$\dot{Y}^e = \beta_Y \cdot [AD(p) - Y^e]$$

$$\lim_{B_Y \rightarrow \infty} Y^e = Y^{eE}, Y^{eE} \mid AD(p) = Y^p$$

■ L'approche GEMMES

Déséquilibre sur le marché des biens

■ Dans GEMMES:

$$\dot{V} = AS(p) - AD(p)$$

$$\dot{p} = \beta_P \cdot [p^d - p]$$

$$p^d = (1 + \mu) \cdot HUC, \quad (1)$$

$$\mu = \mu_0 - \mu_1 \cdot \left(\frac{V}{Y^e} - \alpha_V \right) \quad (2)$$

$$\dot{Y}^e = \beta_Y \cdot (AD(p) - Y^e)$$

$$Y^p = Y^e + I^V$$

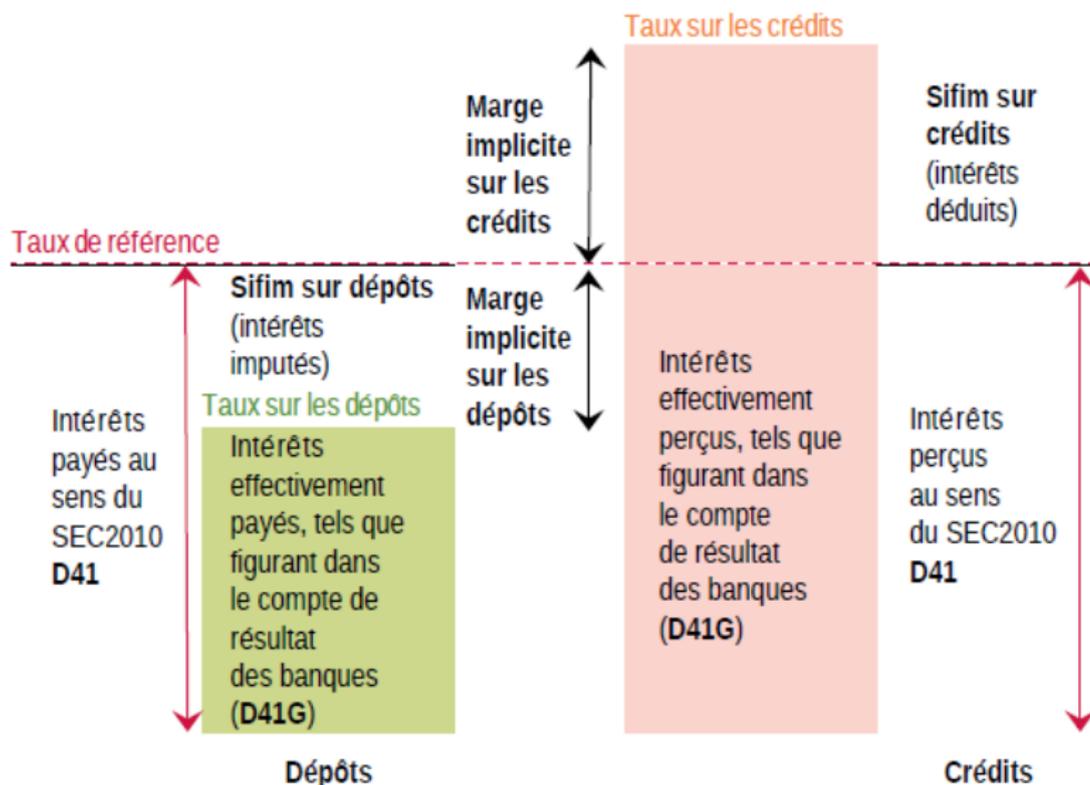
$$I^V = \beta_V \cdot (V^d - V)$$

$$V^d = \alpha \cdot Y^e$$

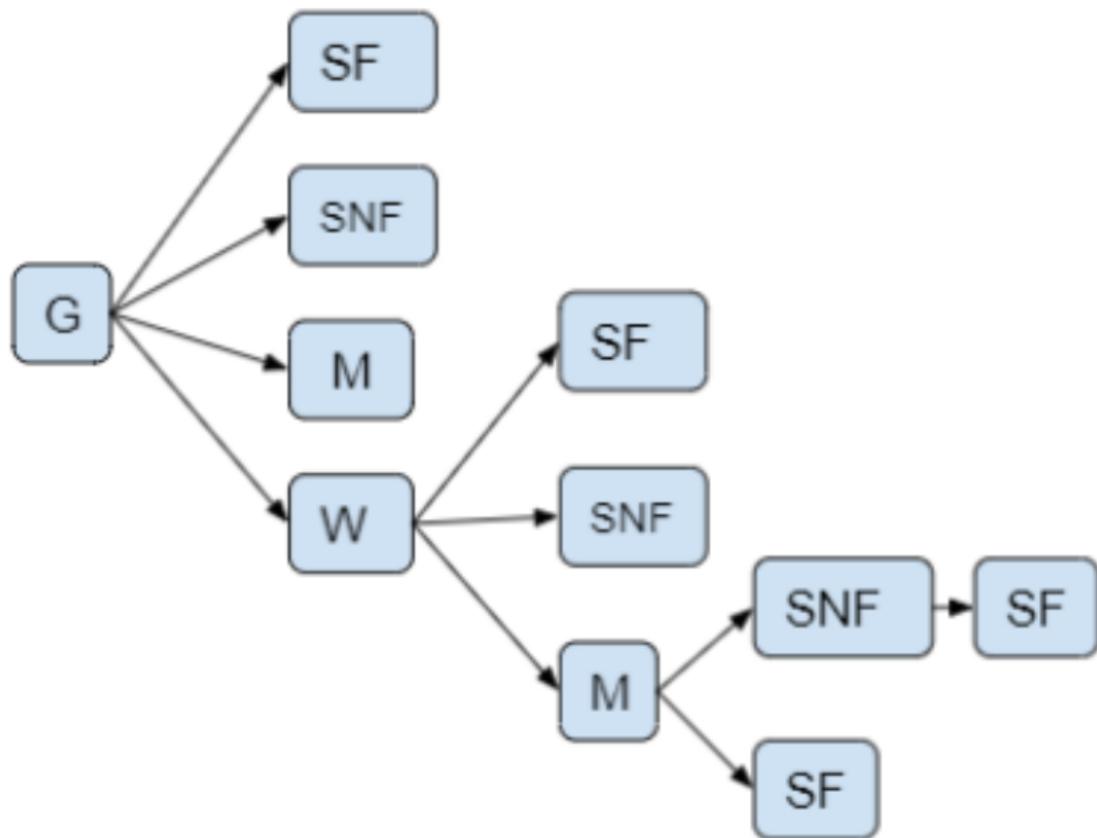
■ Les services d'intermédiation financière indirectement mesurés (SIFIM)

- Les SIFIM sont l'un des produits du secteur bancaire. Il est apparu historiquement car, auparavant, le secteur n'était perçu que comme un coût pour les secteurs productifs.
- Idée fondamentale : en prêtant et en collectant des dépôts, les banques fournissent un service et, du point de vue de la théorie des fonds prêtables, la valeur de ce service est égale au taux d'intérêt facturé ou payé pour le crédit et les dépôts et à ce que serait le taux d'intérêt d'équilibre.
- En pratique, le taux d'intérêt d'équilibre n'existe pas, on utilise donc un taux de référence, généralement le taux de prêt interbancaire. Ensuite, les SIFIM sont inclus dans les tableaux d'entrées-sorties soit comme consommation finale pour les ménages et les administrations publiques, soit comme consommation intermédiaire pour les secteurs productifs, tandis que les transferts d'intérêts (D41 dans le SNA) ne comptabilisent que les paiements d'intérêts liés au taux de référence. $i_L \cdot L = (i_L - i_R) \cdot L + i_R \cdot L$
or $-i_D \cdot D = (i_R - i_D) \cdot D - i_R \cdot D$.

■ Logique des SIFIM



■ Reconstructions des données



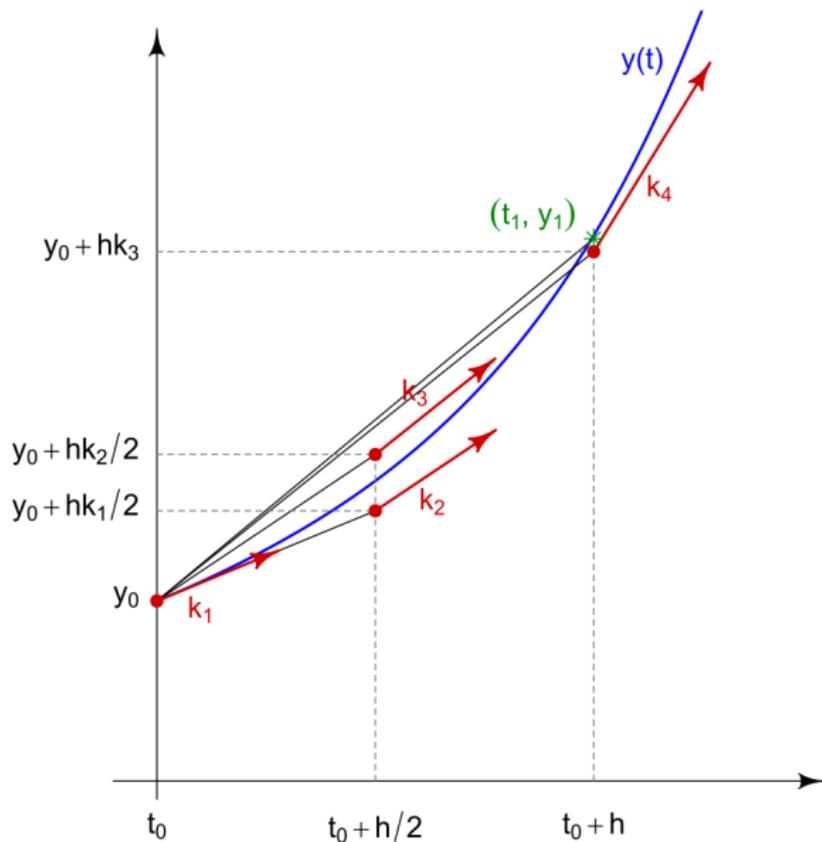
■ Outline

- 1 Motivation et contexte
- 2 LPJmL et Couplage
- 3 Structure du modèle
- 4 Calibration et simulations**
- 5 Simulations (en cours)

■ Simulation

- Impossible de résoudre analytiquement la dynamique des systèmes à grande échelle, il faut donc recourir à des solveurs numériques, ce qui *de facto* implique l'utilisation d'un pas de temps, qui est différent de la période utilisée dans le système. Implicitement, plus le pas de temps est court, plus la solution simulée est proche de la solution analytique, mais au prix d'une augmentation du temps de simulation.
- Nous utilisons Runge-Kutta d'ordre 4 qui implique l'approximation de la pente du système d'ODE via le calcul de 4 pentes numériques, à différents points dans le temps, qui dépendent du pas de temps utilisé.

■ Runge-Kutta d'ordre 4



■ Covariance Matrix Adaptation - Evolution Strategy

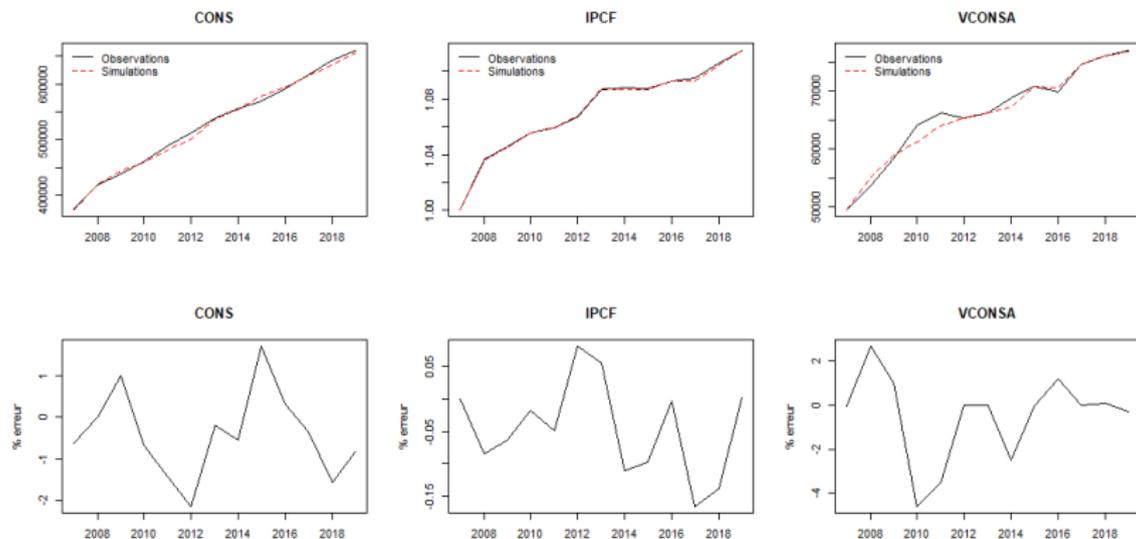
CMA-ES: <https://arxiv.org/abs/1604.00772>

- Algorithme d'optimisation numérique pour les fonctions non linéaires non convexes à temps continu.
- Combine l'adaptation de la matrice de covariance (équivalente à l'optimisation) avec un algorithme génétique (ES) pour éviter de tomber dans des optima locaux.
 - ▶ Nécessité de spécifier une fonction d'ajustement (une moyenne pondérée)
 - ▶ Nécessité de spécifier la fréquence d'échantillonnage de la fonction d'ajustement (multifréquence possible)
 - ▶ Nécessité de spécifier les pondérations pour chaque point
 - ▶ Dépendance vis-à-vis des points initiaux (! non observés)
 - ▶ Simulations de Monte-Carlo, en raison de l'élément stochastique de l'ES.
- Développé par Stanislas Augier en C++, avec l'algorithme RK4
 - ▶ Ecrire le modèle sous forme symbolique, en utilisant des ancres pour spécifier les variables intermédiaires, les équations différentielles, la valeur initiale et la valeur des paramètres.
 - ▶ Interface R générant un code C++ qui est ensuite compilé et appelé
 - ▶ Très rapide. Une fois compilé, RK4 est instantané, CMA-ES dépend de la taille du domaine (combien de paramètres) et de la non-linéarité (élasticités).

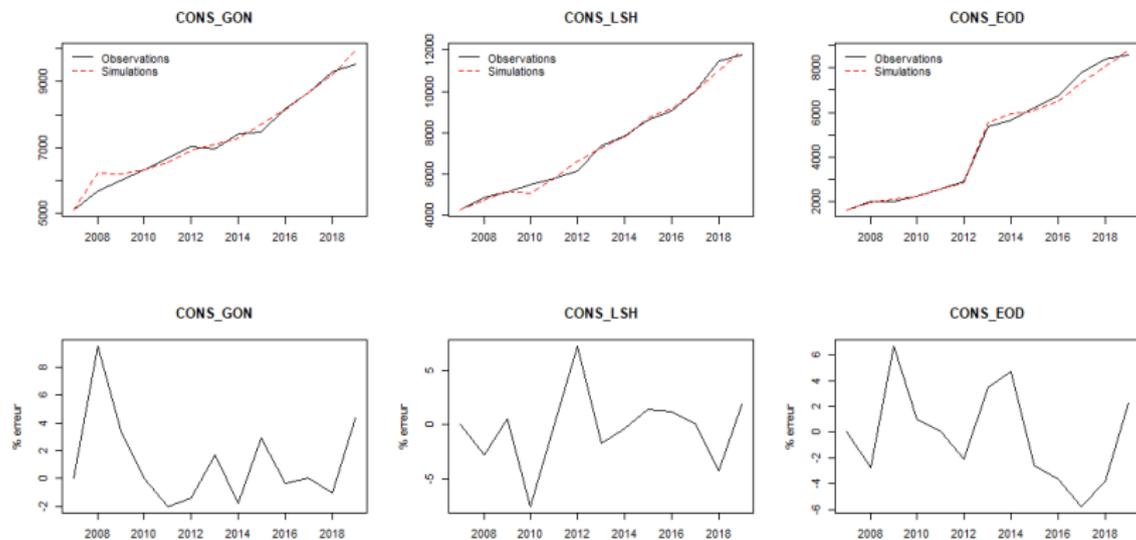
■ En pratique

- Décomposer le modèle en blocs, où certaines variables sont rendues exogènes (par exemple, bloc de consommation avec revenu exogène), calibrer chaque bloc. Dans certains cas, il faut des sous-blocs intégrés (par exemple, l'emploi détermine la productivité qui alimente la tarification).
- Exécuter de nombreuses spécifications, importance de l'exploration du domaine (valeur min max pour les paramètres), MC et sensibilité de la valeur du paramètre calibré, etc.
- Une fois chaque bloc calibré, re-calibrer l'ensemble du système mais seulement pour certains paramètres qui assureront la cohérence du système global.
- Validation à travers différents chocs politiques pour assurer la pertinence des résultats des multiplicateurs et des élasticités.

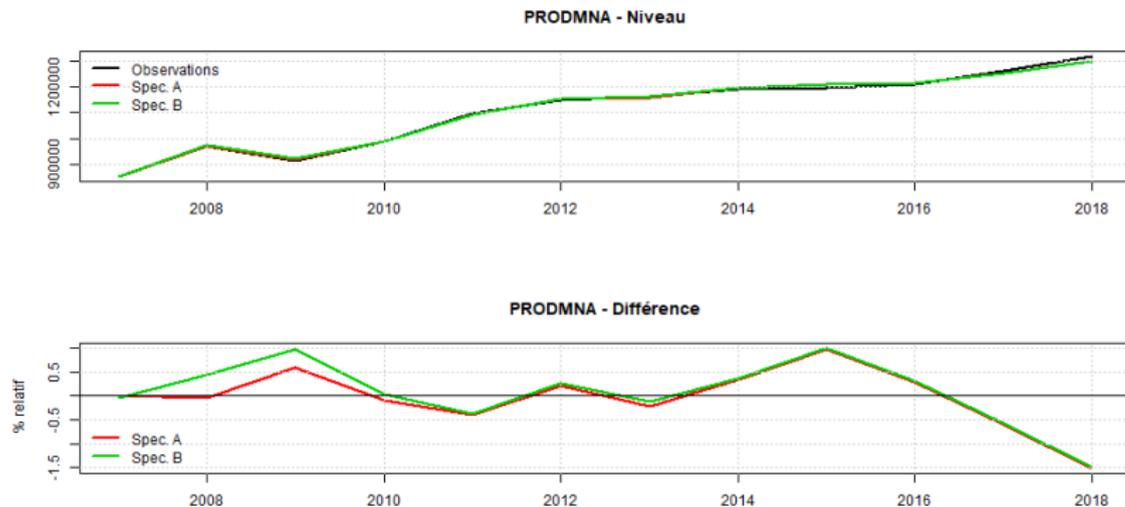
■ Exemple - Consommation



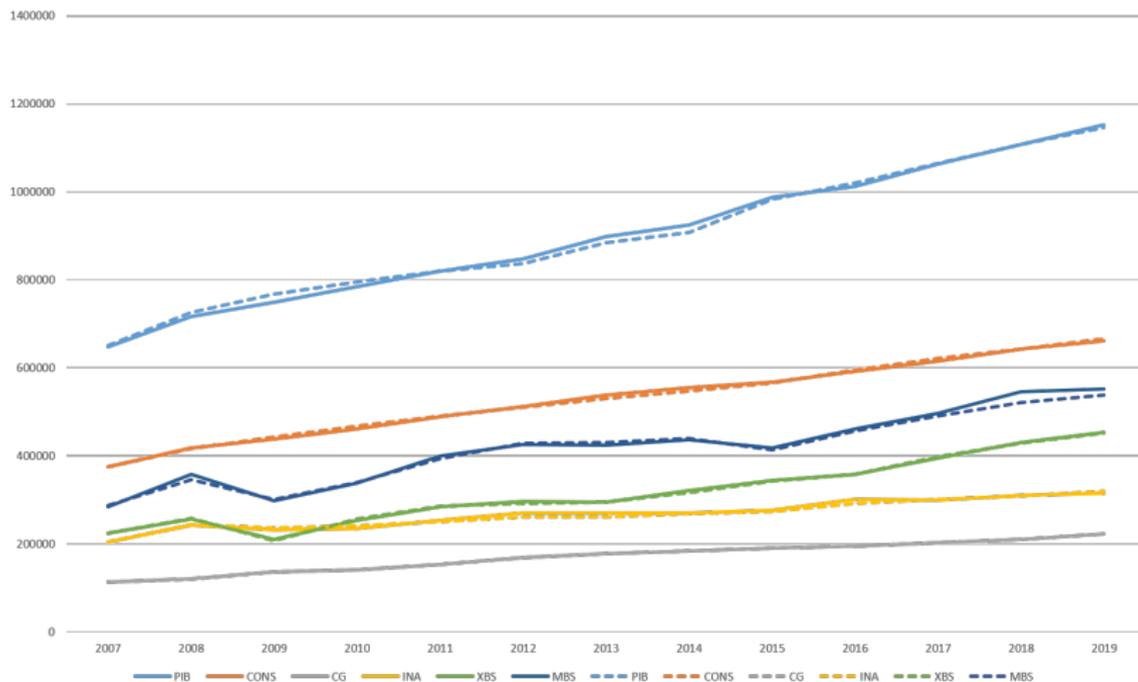
■ Exemple - Consommation régionale



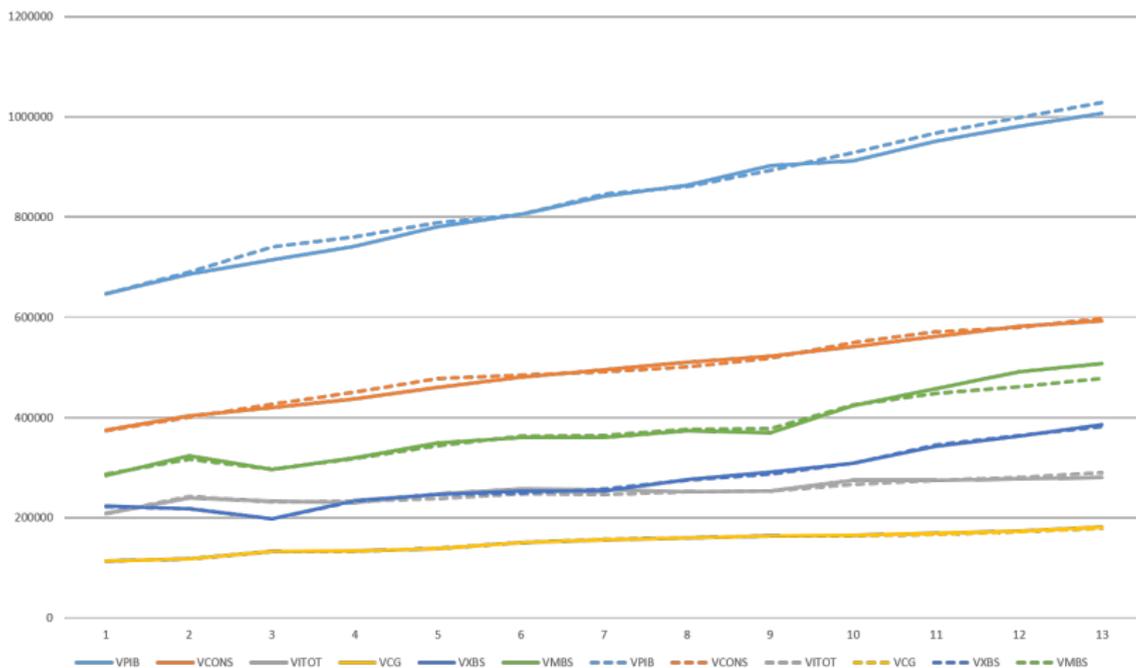
■ Exemple - Production



■ Système complet - en Nominal



■ Système complet - en Réel



■ Outline

- 1 Motivation et contexte
- 2 LPJmL et Couplage
- 3 Structure du modèle
- 4 Calibration et simulations
- 5 Simulations (en cours)**

■ Le choix du scénario

- Définir des scénarios exogènes (reste du monde, démographie, -quelques changements technologiques, etc.)
- Point initial, basé sur les données mais pour les variables non observées (vérifier la cohérence avec la calibration)
- Choix de la fermeture. Si le déséquilibre est persistant (BdP, public, privé, sectoriel), quel est le facteur d'absorption ?
 - ▶ Avons-nous des forces d'équilibre (c'est-à-dire le taux de change pour la BdP, ou le taux d'intérêt pour le public) ?
 - ▶ supposons nous un stock tampon (c'est-à-dire que les banques privées achètent toutes les obligations publiques, le secteur public est en déficit pour couvrir le déficit du compte courant) ?
- Plusieurs fermetures peuvent être sélectionnées et contrastées
- Importance du dialogue dans cette partie (scénario, clôture)

■ Prochaines étapes

- Construction des scénarios alternatifs et couplage avec LPJmL (en cours)
- Présentation des résultats à la COP26
- Couplage du cadre macro GEMMES avec LEAP pour la stratégie de long-terme et traiter des questions de mix énergétique

■ Merci

godina@afd.fr