



Utiliser la modélisation pour prévoir des scénarios futurs : les changements climatiques vont-ils conduire les systèmes agroforestiers au Québec vers la complémentarité ou la compétition?

Susy DOMENICANO¹, M.Sc., étudiante au doctorat
Alain PAQUETTE¹ et Christian MESSIER¹

¹Centre d'étude de la forêt, Université du Québec à Montréal,
B.P. 8888, Centre-Ville Station, Montréal QC H3C 3P8

Courriel : s.domenicano@sympatico.ca

(Conférence présentée par **Alain PAQUETTE**, Ph.D., chercheur, CEF)

Mots clefs : systèmes agroforestiers, changement climatique, modélisation de productivité agroforestière, Hi-sAFe, complémentarité

Les changements climatiques pourraient avoir des conséquences considérables sur les rendements des cultures et les pratiques agricoles québécoises. Il est de plus en plus reconnu à travers le monde que l'implantation d'arbres sur les terres agricoles au moyen de systèmes agroforestiers fournit des services écologiques diversifiés et peut atténuer les effets négatifs des changements climatiques appréhendés pour les prochaines décennies. Leur structure particulière, intermédiaire entre celles des monocultures agricoles et des écosystèmes naturels complexes, permettrait une meilleure exploitation des ressources du milieu en raison de l'effet de complémentarité entre l'arbre et les cultures.

Bien que la pratique d'agroforesterie dans les régions tempérées ait pris de l'ampleur en Europe et aux États-Unis dans les dernières décennies (Graves *et al.*, 2007), nous retrouvons des lacunes importantes dans la littérature scientifique portant sur l'agroforesterie et les techniques relatives à notre région tempérée québécoise. Étant donné que l'agroforesterie n'est pas une pratique courante au Québec et que les expérimentations sur le terrain sont rares et limitées par la lente maturation des arbres, la modélisation apparaît d'autant plus nécessaire. Le développement de modèles mécanistes est considéré comme un point clé pour intégrer des connaissances souvent site et climat spécifiques, pour améliorer la compréhension des interactions arbres/cultures et pour concevoir des systèmes agroforestiers productifs (Muetzelfeldt, 1995; Ellis *et al.*, 2004).

Pour nous permettre de mieux comprendre la contribution potentielle de systèmes agroforestiers (systèmes de cultures intercalaires) à la résistance des agroécosystèmes du sud du Québec face aux changements climatiques, nous avons adapté le modèle Hi-sAFe, développé essentiellement dans le cadre du projet européen SAFE (Silvoarable Agroforestry For Europe, Dupraz *et al.*, 2005). Hi-sAFe est un modèle biophysique du fonctionnement de systèmes agroforestiers tempérés, associant arbres et grandes cultures, conçu sous l'hypothèse que le partage des ressources (lumière, eau et azote) au sein d'un système agroforestier est le déterminant majeur de sa productivité. Il propose un couplage en 3-D et au pas de temps journalier, par des modules de répartition de ces trois ressources, entre un modèle de culture et un modèle d'arbre.

Avant de soumettre le modèle Hi-sAFe à des hypothèses de productivité et de scénarios futurs de changements climatiques, il était impératif dans un premier temps de paramétrer et de valider le modèle pour le Québec. Des données tirées d'un des seuls sites agroforestiers expérimentaux au Québec situé à Saint-Paulin dans la région de la Mauricie ont été utilisées. Des données extraites de la littérature ont aussi été utilisées pour bonifier la paramétrisation étant donné un manque de sites expérimentaux.

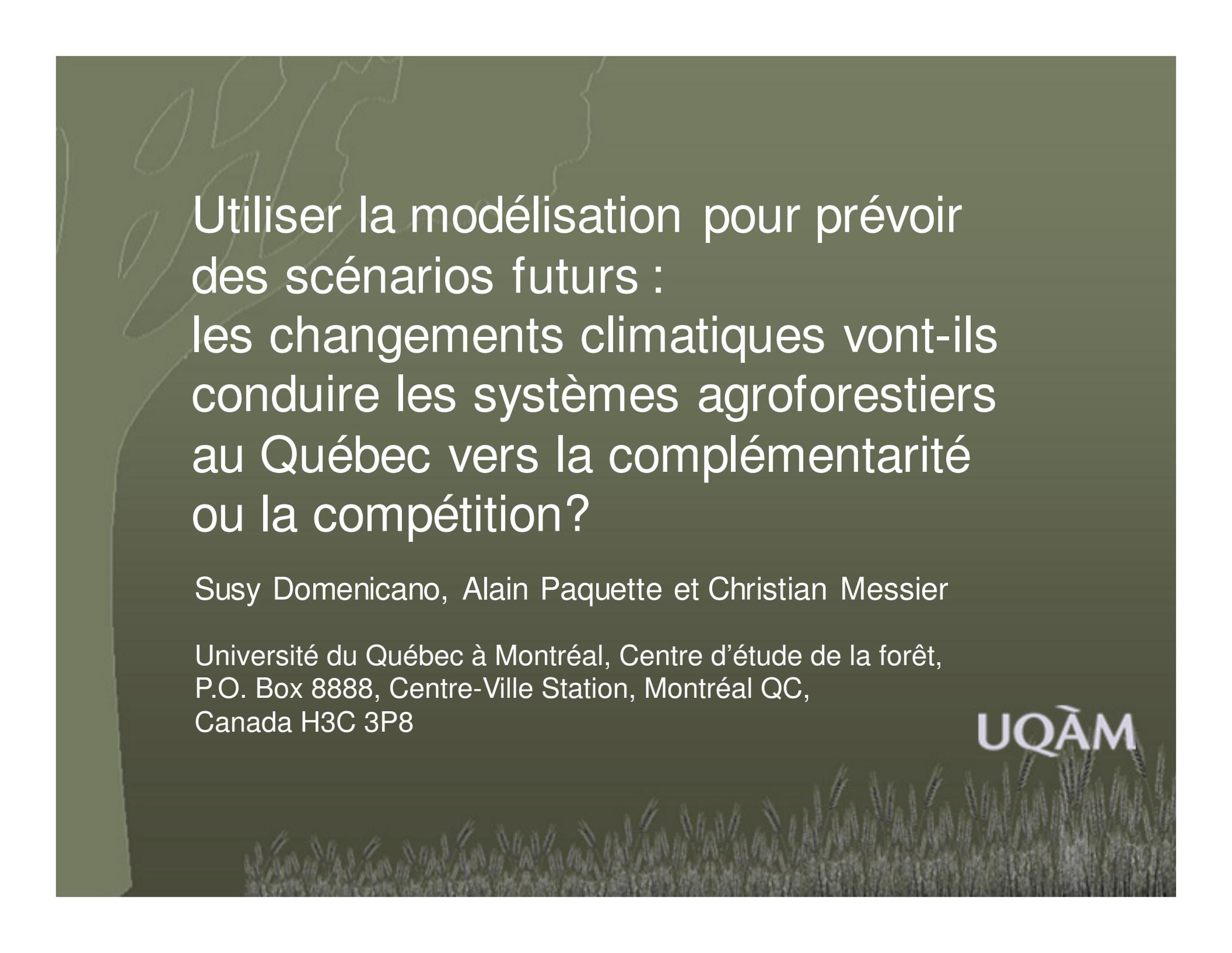
Une fois validé, le modèle nous permet de tester divers scénarios d'implantation des systèmes intercalaires, selon différentes hypothèses de changements climatiques.

Des scénarios futurs de productivité pour le chêne rouge (*Quercus rubra* L.) et le cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrh.), en association avec une culture de fourrage, font partie de notre premier plan d'expérimentations virtuelles. En utilisant différents scénarios de changements climatiques fournis par le Consortium Ouranos, nous explorons des questions de nature plus théorique sur les thèmes de complémentarité, de facilitation et de compétition dans les communautés de plantes agroforestières. À l'aide de notre modèle, nous allons pouvoir observer l'influence des changements climatiques sur ces interactions.

Nous vous présentons nos résultats préliminaires ainsi que nos pistes de recherches futures qui incluent un plan pour un dispositif expérimental conçu pour tester l'effet du vent (stress mécanique) sur les systèmes racinaires d'arbres isolés. Nous aimerions mieux comprendre l'effet du vent sur la distribution spatiale de la biomasse racinaire pour évaluer la nécessité d'intégrer ce facteur dans la modélisation de systèmes agroforestiers.

RÉFÉRENCES

- Ellis E. A., G. Bentrup et M.M. Schoeneberger. 2004. Computer-based tools for decision support in agroforestry: current state and future needs. *Agroforestry Systems* 61/62, 401-421.
- Graves, A.R., P.J. Burgess, J.H.N. Palma, F. Herzog, G. Moreno, M. Bertomeu, C. Dupraz, F. Liagre, K. Keesman, W. van der Werf, A.K. de Nooy et J.P. van den Briel. 2007. Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. *Ecological engineering*, vol. 29, no 4, p. 434-449.
- Dupraz, C., P. Burgess, A. Gavaland, A. Graves, F. Herzog, L.D. Incoll, N. Jackson, K. Keesman, G. Lawson, I. Lecomte, F. Liagre, K. Mantzanas, M. Mayus, G. Moreno, J. Palma, V. Papanastasis, P. Paris, D.J. Pilbeam, Y. Reisner, M. Van Noordwijk, G. Vincent et W. Van der Werf. 2005. *Synthesis of the Silvoarable Agroforestry For Europe project*. Montpellier: 254 p.
- Muetzelfeldt R. I. 1995. A framework for a modular modelling approach for agroforestry. *Agroforestry Systems* V30, 223-234.

The background of the slide features a dark green, textured surface. On the left side, there is a faint, light-colored outline of a tree's canopy. At the bottom of the slide, there is a horizontal band showing a close-up of green grass or wheat stalks.

Utiliser la modélisation pour prévoir
des scénarios futurs :
les changements climatiques vont-ils
conduire les systèmes agroforestiers
au Québec vers la complémentarité
ou la compétition?

Susy Domenicano, Alain Paquette et Christian Messier

Université du Québec à Montréal, Centre d'étude de la forêt,
P.O. Box 8888, Centre-Ville Station, Montréal QC,
Canada H3C 3P8

UQÀM

Qu'est-ce que l'agroforesterie?

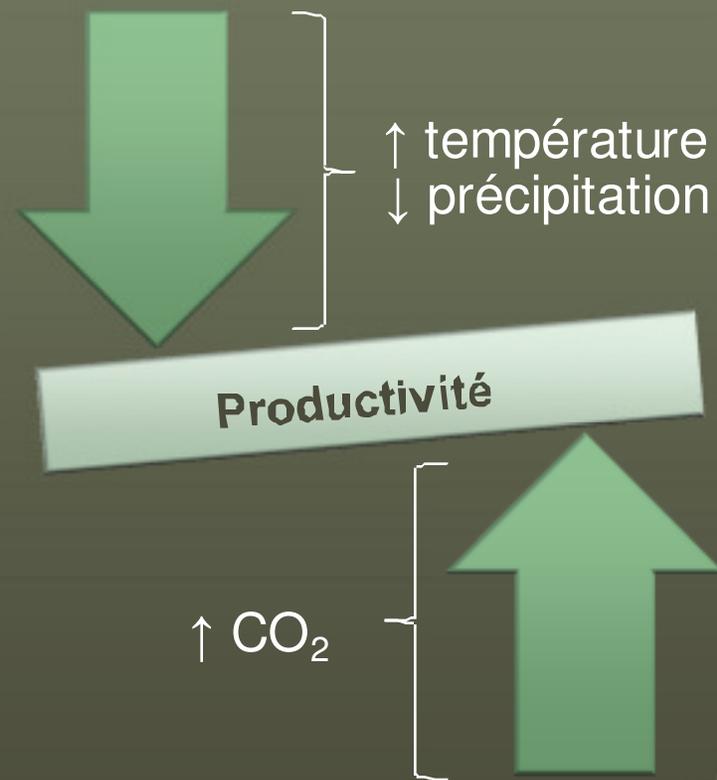


Pourquoi adopter l'agroforesterie?

- la séquestration du carbone,
- la conservation de la biodiversité,
- l'enrichissement des sols, et
- l'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau

... pour atténuer les effets négatifs des changements climatiques

- Les gaz à effet de serre auront un impact sur la croissance et le fonctionnement des systèmes agricoles et forestiers



La grande question: La productivité?

- Il y a un avantage à l'agroforesterie que lorsque les processus d'interaction entre les arbres et les cultures sont positives.
- L'une des questions fondamentales en agroforesterie est de savoir si la coexistence des arbres et des cultures est positive, ce qui conduit à une productivité accrue, ou si la coexistence est négative, conduisant à une baisse de productivité.

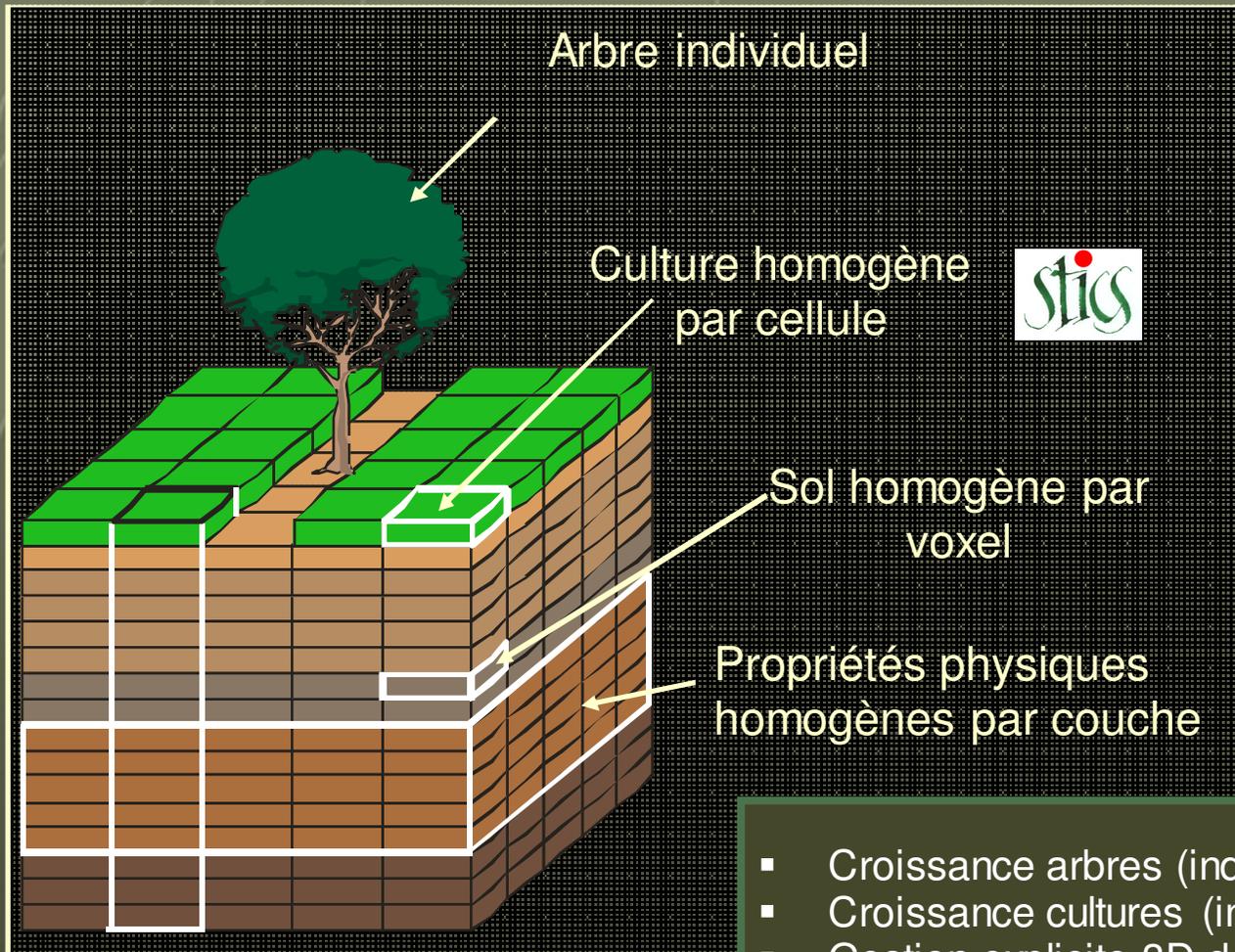
Approche par modélisation

- Système agroforestier très complexe : évolution sur le temps long versus évolution sur le temps rond
- Développement de modèles mécanistes nécessaire pour améliorer la compréhension des interactions arbres/cultures, et pour concevoir des systèmes agroforestiers productifs

Hi-sAFé: Un modèle mécaniste biophysique

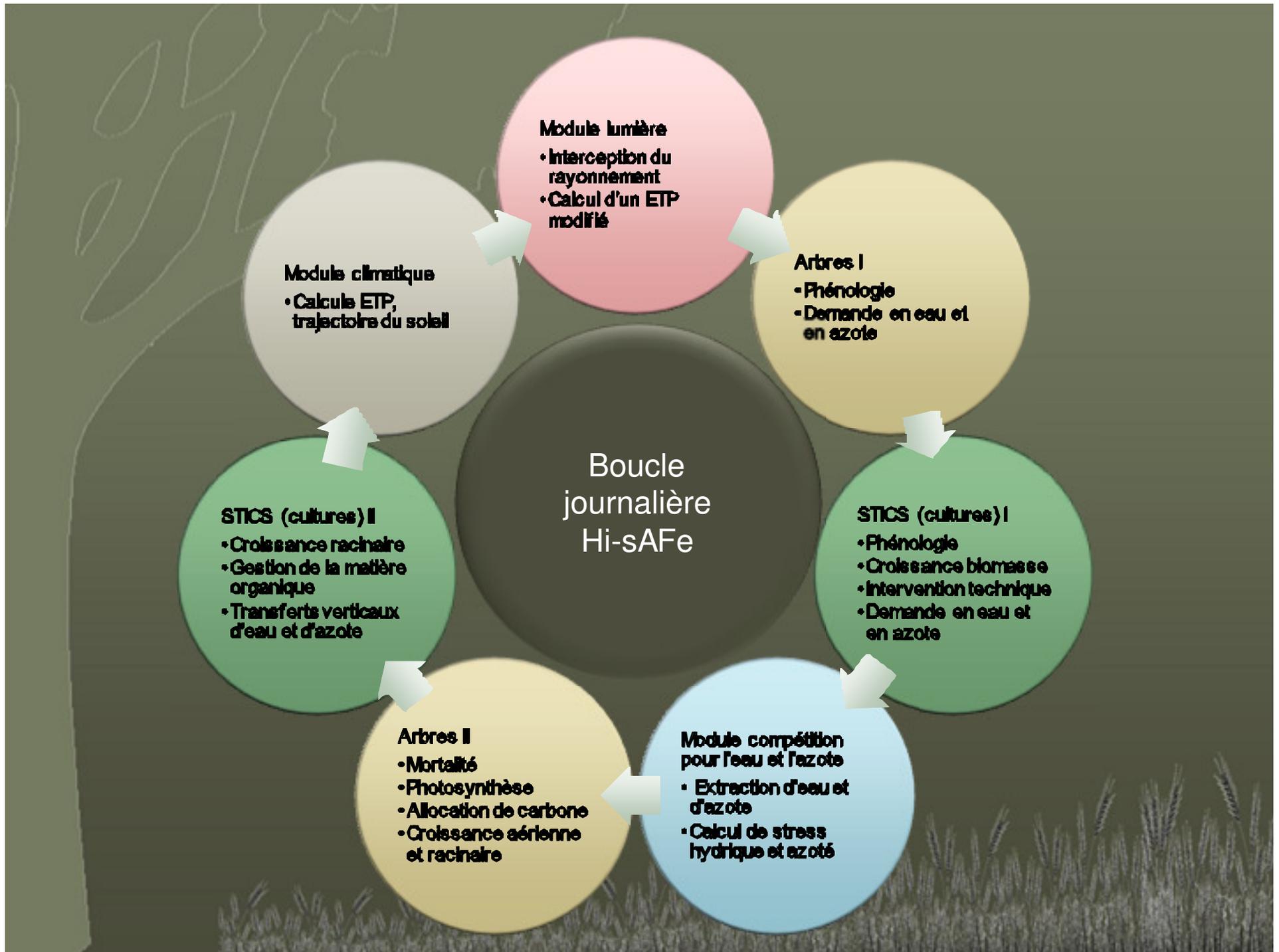
- Pas de temps journalier
- Modélisation des arbres : modèle individu centré: photosynthèse, allocation de carbone, géométrie
- Modélisation des cultures : instances de STICS.
- Interactions pour l'utilisation des ressources eau, lumière et azote
- Intègre ces processus sur l'ensemble de la révolution agroforestière

Hi-sAFe en graphique



Graphique : Dr Grégoire Talbot
(présentation de soutenance)

- Croissance arbres (individu centré)
- Croissance cultures (instances de STICS)
- Gestion explicite 3D des interactions :
 - lumière
 - eau
 - azote



Objectif

Évaluer l'influence des changements climatiques sur les processus d'interaction qui déterminent la productivité des systèmes agroforestiers

Hypothèse : La complémentarité entre les arbres et les cultures dans les systèmes agroforestiers atténuera les effets des changements climatiques sur la productivité des cultures comparativement à des systèmes de culture pure.

Méthodologie

1. Modifier les paramètres et valider le modèle en utilisant des données tirées de site agroforestier ou trouvé dans la littérature;
2. Développer un plan d'expérience virtuelle pour évaluer la productivité d'un système agroforestier (AF) et d'un système agricole pure (TA);
3. Simuler le système agroforestier (AF) et agricole (TA) en utilisant le climat d'aujourd'hui et du futur.

Site expérimental : St-Paulin, QC



- 4 blocs expérimentaux (10 parcelles) sur 4 ha
- 3 espèces (*Prunus serotina*, *Quercus rubra*, Peuplier hybride [DN-3570 et DN-3333])
- Direction des rangées : nord-sud
- Cultures: trèfle (*Trifolium repens*) et millet (*Phleum pratens*)

Sélection des scénarios

- Données climatiques : température min et max ($^{\circ}\text{C}$), rayonnement global (MJ.m^{-1}), précipitations (mm), humidités rel. min et max (%), et vitesse du vent (m.s^{-1})
- Ouranos: 102 simulations ont les données climatiques requises par Hi-sAFé
- Calcul des deltas entre la période de référence (1971-2000) et la période future (2041-2070)
- Analyses par grappes des deltas basés sur 4 paramètres :
 - Tmin, 90e perc, mars à mai (40%)
 - Tmax, 90e perc, avril à oct (40%)
 - nb épisodes pcp/24h > 25mm (10%)
 - nb épisodes pcp/24h < 2 mm pendant 10 jrs (10%)

Scénarios retenus

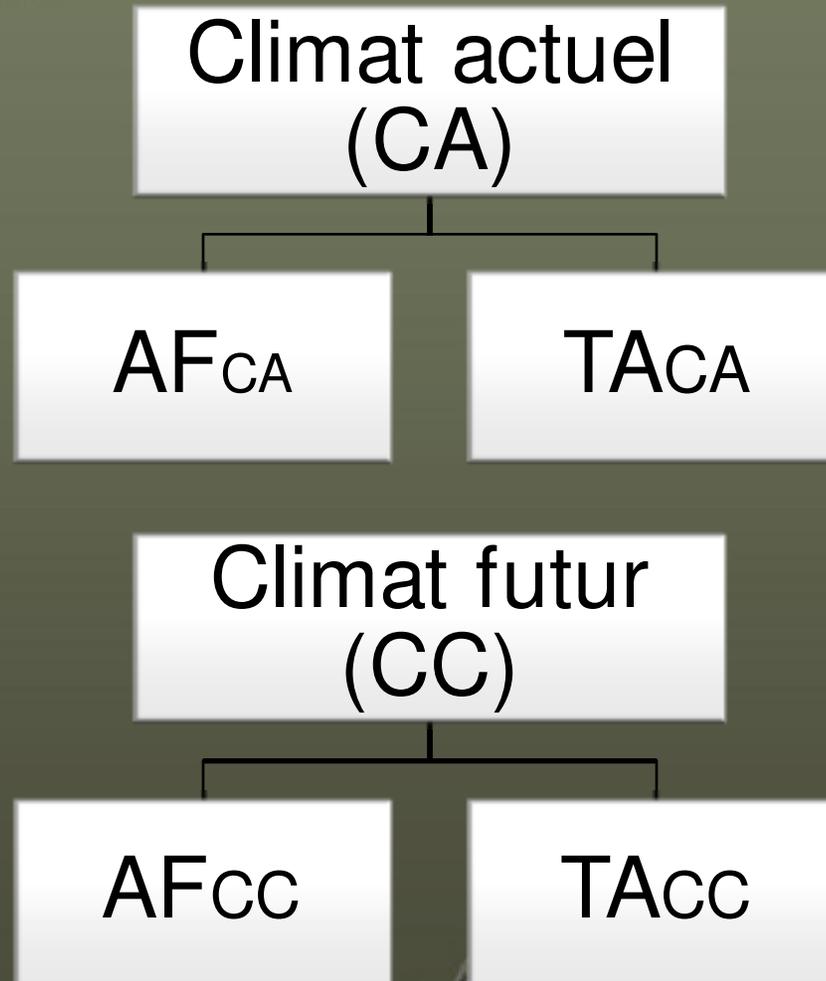
- 9 simulations retenues au total :
- 5 simulations tirées de la méthode des clusters (analyse par grappes) couvrant 74,5 % de la variance, avec un poids de 40, 40, 10, 10 respectivement sur les 4 paramètres
- 4 simulations extrêmes « théoriques » retenues :
 1. Température maximum
 2. Température minimum extrême
 3. Sécheresse
 4. Combinaison de 1, 2 et 3

Plan d'expérience virtuelle

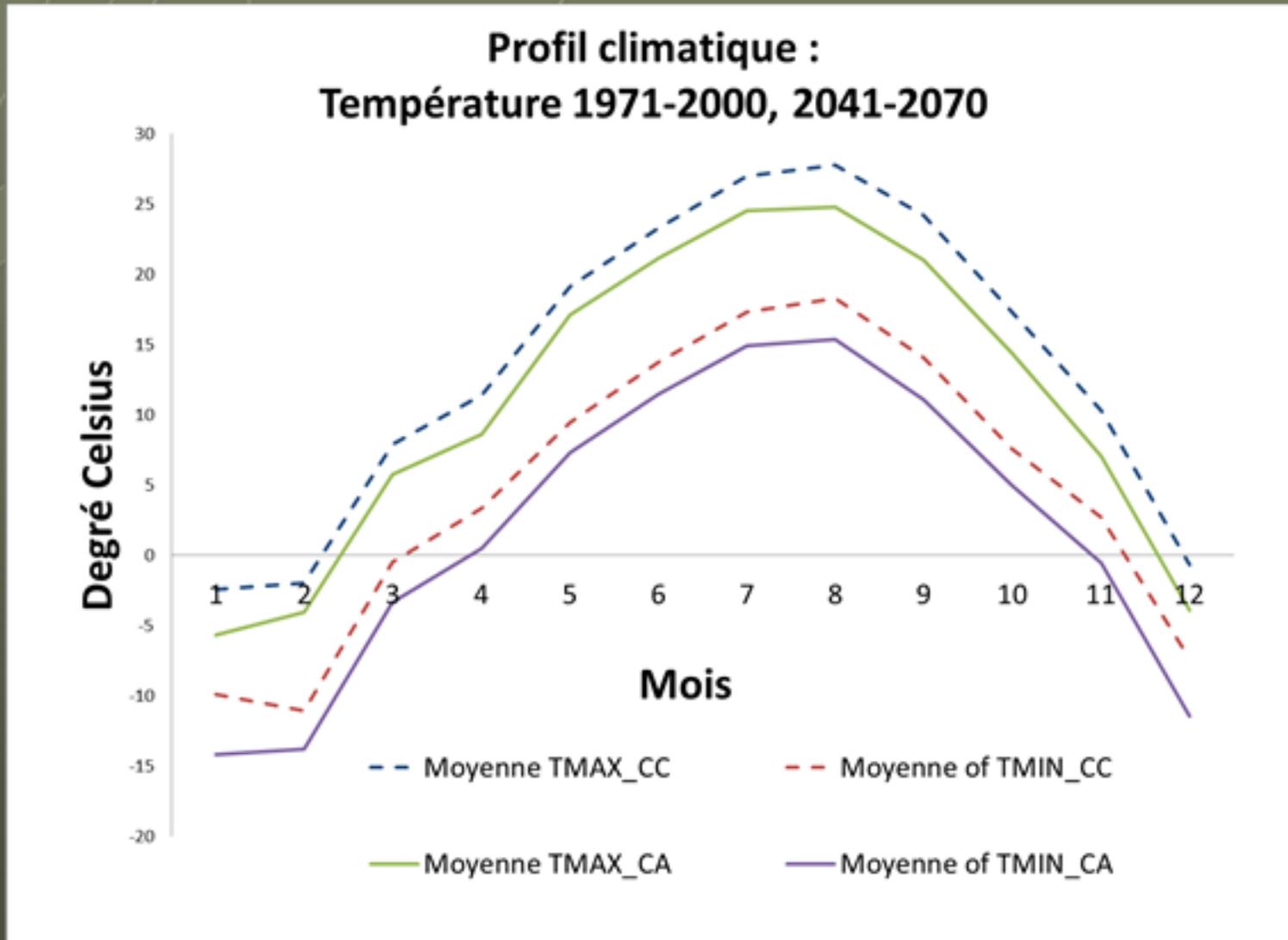
Entrée Hi-sAFé

- Espèce d'arbre : peuplier (modifier avec données du QC)
- Culture : blé de printemps (STICS)
- Fichiers Climats : actuel (1971-2000) et futur (2041-2070)
- Scène virtuelle : un arbre, espacement de 9 mètres sur la ligne et 13 mètres entre les lignes
- Alignement : Nord-Sud

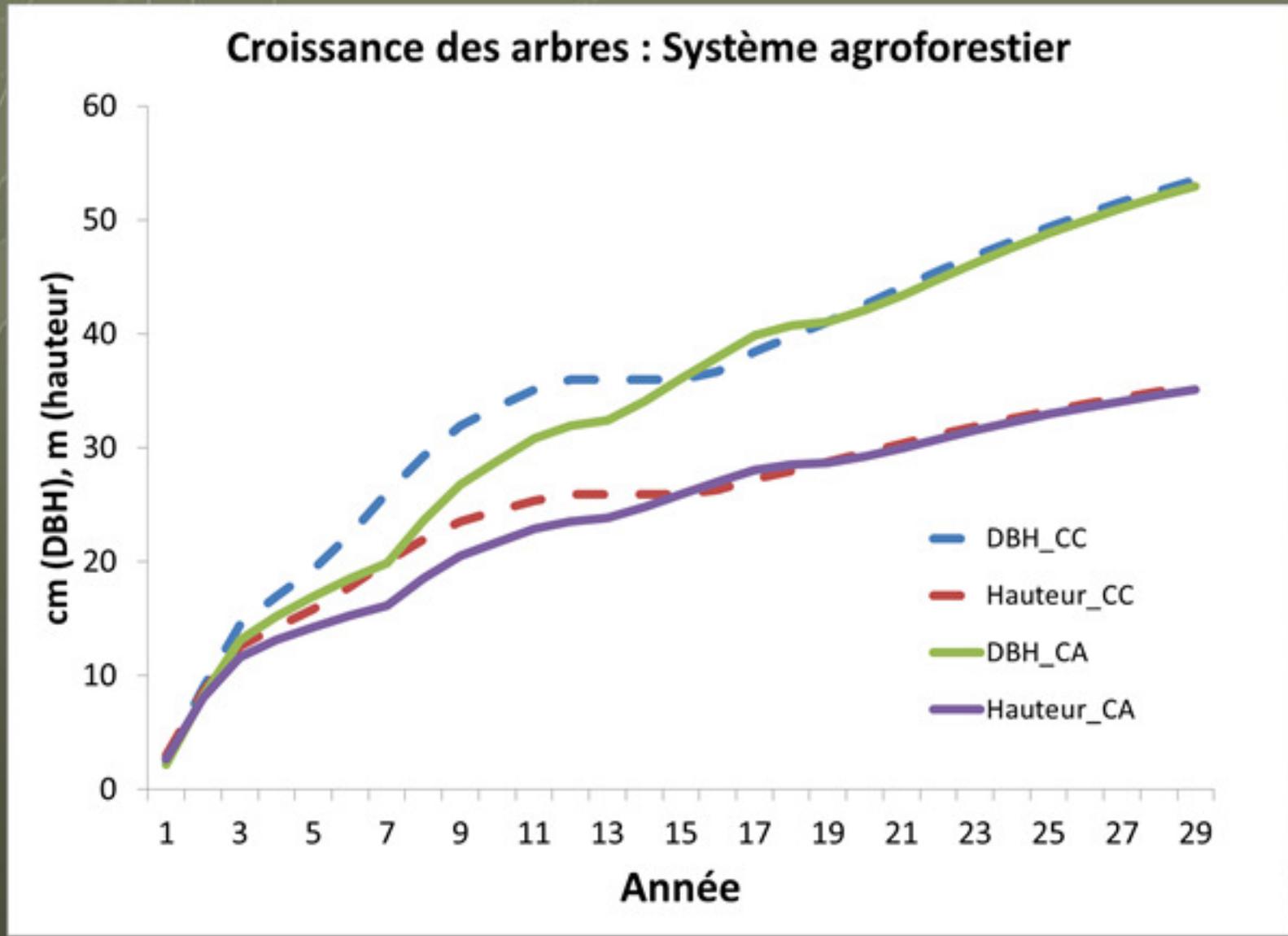
Plan d'expérience virtuelle



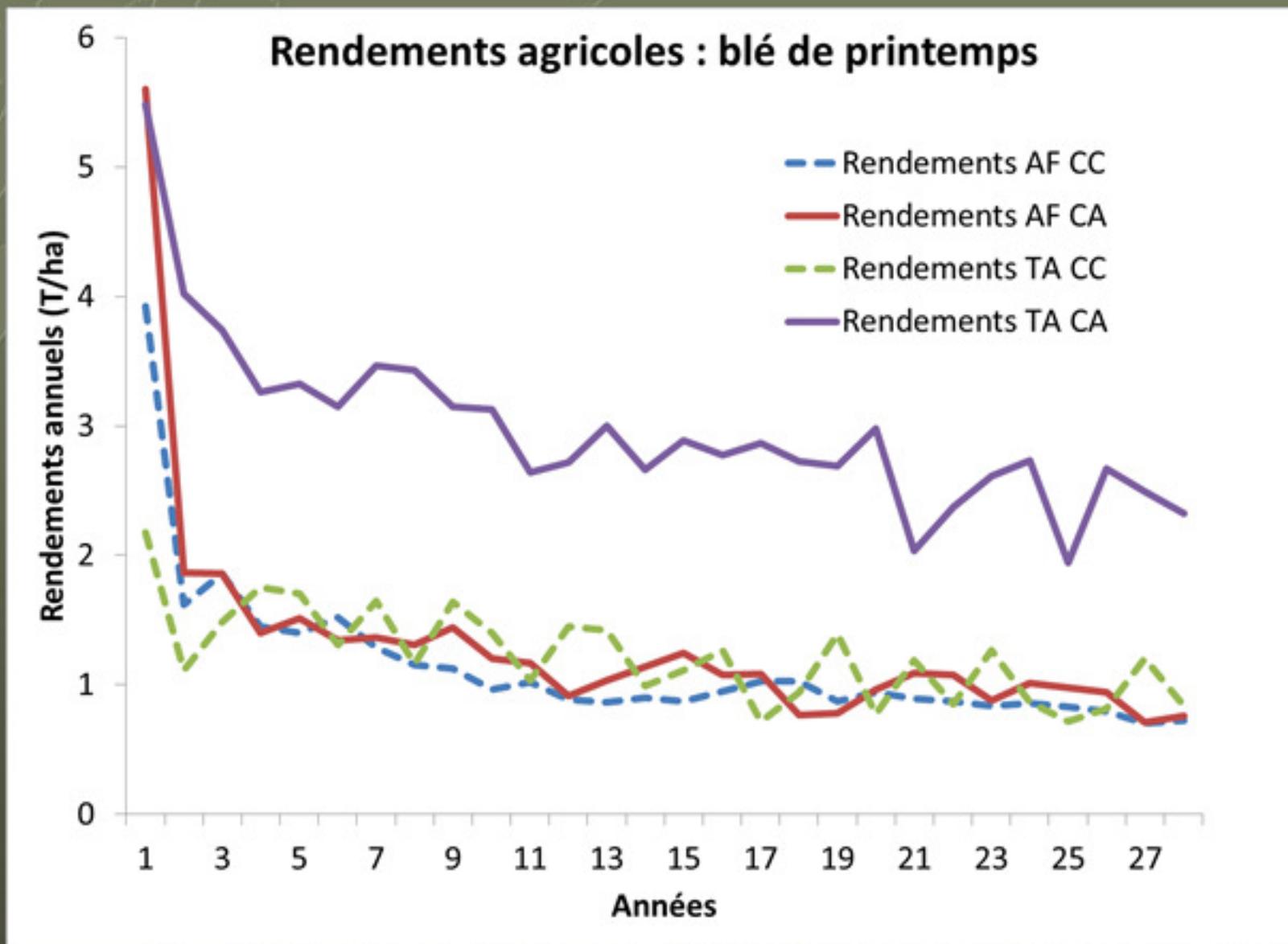
Exemple de variable climatique simulé



Croissance des arbres



Productivité soutenue pour les cultures



Points à retenir avec un grain de sel!

- Dans un contexte de changement climatique, les rendements du blé de printemps dans un système agroforestier sont comparables à ceux d'un témoin agricole;
- Les rendements apparaissent plus stables dans un système agroforestier sur une rotation de 30 ans;
- Il reste plusieurs plans d'expérience virtuelle à compléter qui pourront confirmer qu'un élément de complémentarité est en jeu pour maintenir le rendement des cultures en présence d'arbres.

Remerciements



Modélisation de la
Complexité de la
Forêt