

---

# MODÉLISATION D'ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES SUR LES PRODUCTIONS AGRICOLES À L'HORIZON 2050 : APPLICATION A LA GESTION ÉCONOMIQUE DU RISQUE

Thèse de Dorothée **KAPSAMBELIS**<sup>1</sup>

Analysée par Philippe **BOYER**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Jean **CORDIER**, Professeur SMART UMR INRAE/IA, Institut Agro-Rennes-Angers

Co-directeur de thèse : David **MONCOULON**, Directeur Départemental R&D Modélisation, CCR

## 1. Introduction : aperçu des objectifs de la thèse

Le travail de D. Kapsambelis apporte des éléments de réponse quantifiés à une question concrète, celle de l'instrumentation adaptée et du financement nécessaire de dispositifs de gestion privés et publics de protection contre les risques encourus par les productions agricoles exposées à des événements météorologiques extrêmes, imputables au « changement climatique », qui présentent en France une occurrence déjà préoccupante et dont il est probable que la fréquence et l'ampleur s'accroissent.

Disposer d'une quantification prévisionnelle de ces risques est un préalable pour, ensuite, discuter d'une instrumentation et d'un financement adaptés à leur gestion : la Partie I de la thèse est consacrée à la première étape de cet objectif : la conception d'un modèle statistique établissant, sur la base de données historiques (1989-2018), une relation entre :

- d'une part, les niveaux de pertes *physiques* de récolte sur blé d'hiver, orge d'hiver et prairies dues aux occurrences, sur cet historique, d'épisodes de sécheresse et d'excès d'eau ;
- et, d'autre part, les valeurs *anormales* prises, à des périodes cruciales du développement des plantes, par un indice agro-climatique spécifiquement construit pour ledit modèle.

Dans la seconde étape, en Partie II, Chapitre 1, la relation est utilisée en mode prévisionnel à l'horizon 2050 : les niveaux probables de pertes de récolte dues à de futurs épisodes climatiques extrêmes sont estimés par le modèle statistique appliqué à des simulations issues d'un modèle climatique.

Le chapitre suivant porte sur l'estimation de la *valeur* de ces dommages et l'incidence qu'ils auraient à l'échelle des exploitations agricoles, donc sur les coûts en indemnisation publique et par le récent dispositif subventionné d'assurance-récolte. Sur ces bases, sont discutés

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat de l'Institut Agro Rennes-Angers, COMUE, Université Bretagne-Loire, École doctorale n°597 Sciences Economiques et de Gestion, spécialité « Sciences de gestion », UR SMART-LERECO, Thèse n°E-61 2022-15, soutenue à Rennes le 12 juillet 2022

<sup>2</sup> Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 10, « Economie et politique »

certaines principes pour l'instrumentation et la gestion des dispositifs de couverture des dommages extrêmes aux productions agricoles.

## **2. Un seul indicateur agro-climatique pour caractériser la sécheresse ou l'excès d'eau**

Au terme d'une intéressante revue comparative des indices agro-climatiques existants, au regard des objectifs opérationnels de son travail, l'auteure conçoit son propre indicateur des épisodes climatiques extrêmes, relativement simple à renseigner et relativement universel : le DOWKI<sup>3</sup>.

Pour une année, un lieu (station météorologique) et une culture donnés, le DOWKI est la valeur extrême (maximum positif ou minimum négatif) prise, au cours d'une décade de la période annuelle de vulnérabilité de cette culture, par la différence entre le bilan hydrique<sup>4</sup> cumulé depuis le début de l'année et la moyenne historique des bilans hydriques constatés sur la même décade. Lorsque l'*extremum* ainsi constaté sur une décade est un maximum positif, il y a anomalie hydrique par excès d'eau susceptible d'affecter gravement le rendement de la culture, et réciproquement, anomalie hydrique par sécheresse potentiellement très dommageable en cas de DOWKI minimum et négatif.

## **3. Établissement d'une relation statistique entre valeurs du DOWKI et pertes de récoltes**

Un historique des pertes de récolte par département et culture, évaluées en référence à la moyenne olympique quinquennale du rendement, est établi à partir de la Statistique Agricole Annuelle. La thèse porte sur trois productions végétales : blé tendre d'hiver, orge d'hiver et prairies<sup>5</sup>. Diverses techniques statistiques sont mobilisées pour aboutir à un modèle de relation qui affecte à chaque classe de valeurs de DOWKI, une fréquence de sinistres, une perte moyenne de rendement et une distribution des pertes<sup>6</sup>.

Confronté aux données historiques, le modèle s'avère simuler correctement l'impact des événements extrêmes de sécheresse et d'excès d'eau sur les trois cultures retenues, malgré quelques écarts signalés pour certains épisodes sur certaines cultures, qui conduisent l'auteure à discuter de pistes d'amélioration, dont notamment : la prise en compte de l'évolution de la température décadaire dans l'indice<sup>7</sup> et de l'effet du gel, une méthode de calcul des rendements de référence évitant certains biais de la moyenne olympique, la normalisation de l'indice... L'auteure souligne par ailleurs certains facteurs intervenant dans l'intensité des pertes de récolte, non pris en compte par modèle : pratiques culturales (irrigation, dates de semis et de récolte...), report du déficit hydrique d'une année sur l'autre (pour diverses raisons, le DOWKI est réinitialisé à 0 chaque début d'année).

*Cette partie offre une intéressante revue de méthodes et d'indicateurs agro-climatiques, elle met en œuvre un ensemble d'outils statistiques qui pourrait être utilisé pour des études similaires à une échelle plus locale. Au plan opérationnel, elle fournit également une*

---

<sup>3</sup> « *Drought and Overwhelmed Water Key Indicator* », soit « Indicateur-clé de sécheresse et d'excès d'eau ».

<sup>4</sup> Différence entre les précipitations, en mm et l'évapotranspiration potentielle (ETP) en mm.

<sup>5</sup> Ce n'est pas précisé mais il doit s'agir de l'ensemble STH, prairies temporaires, prairies artificielles.

<sup>6</sup> L'exposé détaillé et critique des techniques précitées sortirait du cadre de cette modeste note. On notera : *i)* le recours à la régression logistique pour estimer les fréquences de sinistre au-delà des données historiques, *ii)* l'optimisation des paramètres du DOWKI par le recours à des plans d'expérience, afin de minimiser les erreurs du modèle, *iii)* la prise en compte de l'incertitude et le calcul de la précision de l'estimation par tirages aléatoires, dans la distribution des pertes simulées afférente à chaque valeur d'indice.

<sup>7</sup> La température moyenne est cependant l'une des variables de la formule appliquée pour l'ETP.

*cartographie de la vulnérabilité des cultures étudiées aux sécheresses et excès d'eau extrêmes, et permet d'envisager que le modèle, sous réserve d'être paramétré pour d'autres cultures, puisse être utilisé pour estimer rapidement des intensités de pertes, en vue, par exemple, de l'instruction de reconnaissance du caractère de calamité agricole d'un sinistre et d'un premier calibrage de coût d'indemnisation sur fonds publics ou par l'assurance. Les limites du modèle sont bien identifiées, à ceci près qu'on pourrait éventuellement s'interroger si différentes composantes de l'agrégat « prairies » n'auraient pas dû être isolées, ou sur l'incidence du choix de l'ETP plutôt que de l'ETR (évapo-transpiration réelle), sur l'indice.*

#### **4. Application à un panel d'évènements climatiques extrêmes simulés à l'horizon 2050**

Dans la seconde partie de la thèse, sont simulés et comparés (en termes d'intensité, de fréquence...) des épisodes extrêmes de sécheresse et d'excès d'eau issus du modèle climatique *Arpège-climat*, appliqué aux climats de l'année 2000 et 2050<sup>8</sup> tel qu'il résulterait d'un des scénarios du GIEC.

*Arpège-climat* fournit les valeurs des variables climatiques permettant de calculer les DOWKI des évènements simulés pour le climat de référence (2000) et pour le climat projeté (2050) et, par application du modèle de relation statistique, d'obtenir les pertes de récolte correspondantes. Des techniques d'interpolation sont appliquées afin d'obtenir les résultats à l'échelle souhaitée (départements, puis parcelles identifiées par le RPG). Une procédure de même type que celle décrite plus haut (note 4, *iii*) permet d'estimer les incertitudes sur les résultats et les minimiser.

Le premier chapitre de cette partie de la thèse conduit à des résultats nationaux en termes de pertes de récoltes ; dans le second et dernier chapitre, ces résultats sont « descendus » à l'échelle des exploitations agricoles. Ils sont alors traduits en termes de pertes économique, en utilisant le RICA<sup>9</sup>, puis en sont tirées des évaluations de coûts pour le système actuel d'assurance-récolte et le fonds des calamités agricoles.

À l'échelle nationale et en termes de pertes de récolte, les résultats font état de l'augmentation de fréquence des épisodes de sécheresse et d'excès d'eau extrêmes en climat 2050 par rapport au climat 2000, et de leur caractère systémique (sécheresse) ainsi que de l'augmentation des taux de pertes de récolte qui en découlent par culture, période de retour et par département.

À l'échelle des exploitations agricoles, les simulations caractérisent les risques climatiques extrêmes 2050 par leur caractère horizontal (céréales étudiées), ou vertical et horizontal (prairies). Les coûts correspondants des dommages extrêmes à cet horizon sont estimés, ainsi que leur répartition entre les assurances et l'État (financement du fonds des calamités agricoles). Sont signalées les difficultés de mutualisation et de financement budgétaires de ces intervenants, dues à l'intensité et à la fréquence des phénomènes.

*Cette partie, annoncée dans le titre même de la thèse, offre une large gamme de résultats quantitatifs qui présentent un grand intérêt pour anticiper les coûts collectifs et privés de l'impact du changement climatique sur l'agriculture « toutes choses égales par ailleurs ».*

---

<sup>8</sup> Le modèle *Arpège-climat* fournit un panel d'évènements météorologiques (températures, précipitations, ...) fictifs, mais d'occurrences possibles en fonction d'un climat donné (modèle dit « à climat constant »), défini comme un ensemble de caractéristiques climatiques découlant d'un état donné de l'atmosphère, lequel dépend fortement des concentrations en gaz à effet de serre.

<sup>9</sup> Et en devant s'adapter à la seule disponibilité des données en mode agrégé de la version publique du RICA, du fait des règles, imposées par le secret statistique, à la mise à disposition des données individuelles (en principe, strictement réservée aux instituts de recherche publique et au terme d'une procédure assez longue d'instruction de la demande).

Parmi les « choses égales par ailleurs » de la thèse figure - ainsi qu'il l'est plusieurs fois souligné - le comportement des producteurs.

On est alors invité à faire des « lectures croisées » de la thèse avec des travaux de prospective sur les adaptations de différents systèmes agricoles au changement climatique (par exemple : <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191203020> ; <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/129747>; <https://idele.fr/detail-dossier/adaptation-des-elevages-laitiers-au-changement-climatique-les-resultats-du-programme-climalait> ).

En termes de productions agricoles, la thèse est « limitée » (si l'on peut dire) aux cultures d'hiver de blé tendre et d'orge d'hiver et à la prairie, la production de cette dernière conditionnant évidemment le niveau des productions animales d'herbivores. Comme souvent, lorsqu'un travail innovant ne porte, compte tenu de l'important investissement conceptuel initial et du coût en collecte de données, que sur une partie inévitablement restreinte du champ potentiellement large d'application de la méthode, on espère que cette dernière sera remobilisée sur d'autres parties de ce champ : cette espérance paraît ici fondée, tant le travail s'est inscrit, sous l'égide de la CCR, dans une perspective opérationnelle.

En France, le réchauffement climatique impacte déjà sensiblement la viticulture et pourrait à terme compromettre son maintien dans certains territoires : il me semble qu'une extension du travail de D. Kapsambelis à cette production s'inscrirait très bien dans le champ des études en cours sur ce sujet (cf. méta-programme [LACCAVE](#)).

S'agissant toujours de la viticulture, l'autre risque climatique important auquel elle est exposée est le gel, et, d'après certaines études cette exposition pourrait ne pas diminuer, voire augmenter avec le réchauffement climatique (cf. [hal-02788657](#) ) ; d'où l'intérêt de disposer d'indicateurs pour étudier et anticiper ces « effets cocktail » de risques.

Parmi les productions sur lesquelles pourraient facilement être calculé le DOWKI, il aurait été (ou sera) intéressant de prendre en compte le maïs grain (1,44 millions d'ha contre 1,20 pour l'orge d'hiver), avec peut-être la difficulté d'intégrer dans le modèle l'irrigation, largement utilisée sur cette culture (500 000 ha).

Dans la revue des modèles d'impact du climat sur les rendements agricoles (pp. 64-68), l'existence de ceux intégrant l'effet de la concentration en CO<sub>2</sub> sur la production végétale est rapidement signalée. Il aurait peut-être fallu développer un peu ce point, compte tenu de l'existence de travaux qui amènent leurs auteurs à remettre en cause la pertinence des simulations d'impact du changement climatique omettant le CO<sub>2</sub> (cf. <http://dx.doi.org/10.1038/s43016-020-00195-4>), ne serait-ce que pour préciser que cette critique ne serait pas pertinente en l'espèce (les dommages étudiés ne sont pas compensables par l'amélioration des rendements hors sinistre), sauf peut-être s'agissant de la détermination des rendements de référence ?

Puisqu'il faut bien essayer de formuler une critique, la mienne porterait sur l'exposé, parfois un peu elliptique (du moins, pour moi, lecteur modérément averti) de certains concepts et méthodes, surtout dans la partie II, qui auraient pu éventuellement être illustrés par des extraits de tableaux de données utilisées ou de résultats obtenus à différents stades des calculs, présentés en annexe.

La thèse de D. Kapsambelis mérite amplement d'être signalée sur le site de l'Académie à plus d'un titre : la forte actualité du sujet, la mobilisation de diverses données, références et méthodes présentées de façon critique et très claire (nonobstant la remarque précédente), les résultats quantifiés produits à différentes échelles, la portée opérationnelle des résultats et de la méthode, qu'on peut souhaiter voir étendue à d'autres productions.