
**ÉVALUER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DIGITALISATION EN
AGRICULTURE :
APPLICATION DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE COMPARATIVE
AUX PRATIQUES AGRICOLES ACTUELLES**

***ASSESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DIGITALISATION IN
AGRICULTURE : APPLICATION OF COMPARATIVE LIFE CYCLE ASSESSMENT
ON CURRENT FARMING PRACTICES***

Thèse de Clémence **HUCK**¹

Analysée par Guy **WAKSMAN**²

Co-directrice de thèse : Véronique **BELLON-MAUREL**, ingénieure IPEF, INRAE

Co-directrice de thèse : Eléonore **LOISEAU**, ingénieure IPEF, INRAE

Cette thèse cherche à construire une méthode pour évaluer l'impact environnemental de l'usage des technologies numériques en agriculture (les DATs ou Digital agricultural technologies). L'introduction générale présente les enjeux relatifs à l'agriculture numérique, incluant un volet socio-économique et politique, et les questions de recherche abordées, ainsi qu'une revue systématique de la littérature permettant de dresser l'état de l'art sur l'évaluation environnementale des DATs. Partant, l'autrice propose d'utiliser l'ACV (Analyse du cycle de vie) assortie, en discussion générale, d'un certain nombre de recommandations et pointant les limites actuelles de celle-ci.

Le cœur du travail réalisé est l'adaptation de cette méthode et sa mise en œuvre pour évaluer des impacts environnementaux de l'usage de technologies numériques. Celles-ci sont classées suivant leur impact transformatif (de la pratique agricole) et leur niveau technologique. Les domaines suivants sont étudiés :

- (1) l'irrigation d'un verger de pommiers à l'aide d'une sonde d'humidité du sol (niveau technologique faible, non transformatif) ;
- (2) le désherbage mécanique d'un vignoble avec un système d'autoguidage du tracteur (niveau technologique élevé, non transformatif) ;
- (3) le désherbage d'un champ de haricots verts à l'aide d'un robot polyvalent autonome (niveau technologique élevé, transformatif) ;

¹ Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Institut Agro Montpellier et de l'Université de Montpellier, en Génie des Procédés, Ecole doctorale GAIA – Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau, portée par l'UMR ITAP - Technologies et méthodes pour les agriculteurs de demain, présentée et soutenue le 27 novembre 2025.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 9 « Agro-fournitures ».

(4) l'aide à la décision pour le traitement fongique en viticulture grâce à un OAD (outil d'aide à la décision) numérique ; une étude comparative et contextuelle de plus de 2 600 analyses de cycle de vie est menée.

L'agriculture numérique, qui repose sur l'utilisation des technologies numériques agricoles (DAT), est généralement considérée comme un moyen d'améliorer la productivité du travail, de diminuer la pénibilité (tri de milliers de tonnes de pommes de terre, par ex) et les contraintes (robot de traite), de développer de nouvelles pratiques (agriculture de précision), mais l'évaluation de l'impact environnemental des DAT, (diminution / la maîtrise des impacts environnementaux de l'agriculture aux DAT), n'ont pas été jusqu'à présent traités comme des objectifs à part entière.

Les outils numériques les plus généralement utilisés par les agriculteurs concernent les prévisions météorologiques, en particulier les prévisions de précipitation, d'une part, et, d'autre part, l'aide pour la comptabilité de l'entreprise sur micro-ordinateur, laquelle a été le véritable moteur de l'informatisation des exploitations agricoles. L'impact environnemental est donc resté limité.

Alors que les outils numériques sont de plus en plus utilisés, et que l'IA Générative se développe partout, y compris en agriculture, les problématiques de l'évaluation environnementale, y/c de la consommation d'énergie, exposées dans cette thèse, peuvent s'avérer de plus en plus intéressantes.

Toutefois, même si la panoplie des outils électroniques s'est progressivement élargie et que toutes les machines agricoles et tous les matériels de l'élevage à l'horticulture (par exemple), participent à la digitalisation de l'agriculture, ce mouvement ne concerne qu'une part limitée des agriculteurs. Ils manifestent peu leur intérêt pour l'IA. Aussi, entreprendre, évaluer les impacts environnementaux de la digitalisation de l'agriculture à l'aide d'ACV ciblées sur des pratiques agricoles « pionnières » peut paraître un peu prématuré. Quelle sera l'efficacité environnementale des capteurs connectés, des robots, ou de l'autoguidage ?

Dans ces circonstances, la signification de l'ACV des pratiques agricoles, « éclairées » par le numérique, pourrait apparaître après que l'utilisation du numérique se soit généralisée.

En conclusion

Cette thèse vise à déterminer si la digitalisation en agriculture modifie les impacts environnementaux des systèmes de production agricole, en mobilisant l'ACV comme cadre méthodologique.

Comme dans d'autres secteurs, la digitalisation peut aussi bien réduire ou aggraver les pressions environnementales. Malgré un intérêt croissant, les impacts environnementaux de l'agriculture numérique restent peu connus, d'où la nécessité de méthodes d'évaluation environnementale standardisées, telles que l'analyse du cycle de vie (ACV). L'application de l'ACV aux technologies numériques dans le secteur agricole soulève cependant des défis spécifiques, tels que la modélisation du cycle de vie des DAT, ou la prise en compte des modifications des pratiques induites par l'utilisation des DAT.

Une revue systématique a synthétisé les connaissances actuelles des impacts environnementaux des DAT, en identifiant les technologies les plus étudiées et les incohérences méthodologiques dans leur évaluation environnementale.

Quatre cas d'usages contrastés ont été analysés afin de déterminer dans quelle mesure (i) le cycle de vie des DAT et (ii) les changements des pratiques qu'ils engendrent contribuent aux impacts environnementaux :

- une sonde d'humidité du sol pour la gestion de l'irrigation d'un verger de pommiers ;
- un système d'autoguidage pour le désherbage mécanique en viticulture ;
- un robot multitâche pour la production de haricots verts ;
- un outil d'aide à la décision (OAD) numérique portant sur le traitement fongique de la vigne, dont la capacité à réduire les impacts environnementaux a été comparée à celle du dispositif traditionnel de conseil agricole collectif (collectif Dephy).

Leurs impacts environnementaux ont été évalués avec une ACV comparative, puis interprétés *via* une classification originale des DAT, croisant niveau technologique et niveau de transformation du système de production.

Pour le dernier cas d'usage, déployé sur la France entière, une analyse comparative de plus de 2 600 ACV d'itinéraires de traitement fongique de vignobles a permis d'explorer la variabilité contextuelle des impacts environnementaux d'un outil d'aide à la décision (OAD) numérique et sa capacité à réduire les impacts environnementaux par rapport à un dispositif de conseil agricole collectif. Deux bases de données de pratiques agricoles ont été utilisées pour les inventaires du cycle de vie, et les résultats des ACV ont été analysés à l'aide d'une analyse en composantes principales et d'analyses de variance.

Dans l'ensemble, ce travail démontre le caractère fortement dépendant du contexte de la digitalisation en agriculture. Si les DAT peuvent contribuer à réduire les impacts environnementaux, les résultats dépendent fortement de la technologie considérée, de l'environnement économique agricole et des choix méthodologiques retenus en ACV.

Cette thèse propose des recommandations pour les praticiens de l'ACV, souligne les défis de l'ACV comparative pour modéliser les changements de pratiques à partir de données du terrain, et éclaire chercheurs, décideurs publics et développeurs de technologies sur les conditions d'un déploiement vertueux des DAT. Les recherches futures devront s'attacher à combler les lacunes persistantes en données, intégrer les services immatériels des DAT, affiner les méthodes d'évaluation des impacts pour mieux modéliser les changements de pratiques agricoles, et évaluer le déploiement à grande échelle des DAT. Cette thèse peut servir de modèle, car même si les exemples de DAT étudiés du point de l'ACV sont limités, ils sont très intéressants.

Par les travaux novateurs, audacieux, qui appellent une suite, la thèse de Clémence HUCK s'inscrit pleinement dans le champ d'intérêt de l'Académie d'agriculture de France et justifie que cette analyse soit valorisée sur le Site de l'Académie et dans la Mensuel.