



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, le numéro de l'article et le DOI.

Évaluer les performances environnementales de scénarios d'aménagement d'irrigation dans un contexte de changement climatique. Apports de l'analyse du cycle de vie territoriale

Nicolas ROGY¹, Agata SFERRATORE², Nicolas GÉHÉNIU³, Éléonore LOISEAU¹

¹ INRAE, UMR ITAP, 34196 Montpellier Cedex 5, France.

² Société du Canal de Provence (SCP), 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

³ BRL Ingénierie, , 30000 Nîmes, France.

Correspondance : Éléonore LOISEAU, eleonore.loiseau@inrae.fr

Le changement climatique exerce une influence significative sur les performances environnementales des scénarios d'aménagement hydraulique pour l'irrigation des cultures. L'évaluation environnementale de ces scénarios, à l'aide de l'analyse du cycle de vie territoriale (ACV-T), permet d'identifier de potentiels compromis entre services rendus et impacts environnementaux. L'étude d'un cas d'étude fictif dans le Sud de la France, comparant des scénarios avec et sans projets d'irrigation, met en lumière ces compromis.

Introduction

L'agriculture doit faire face au double enjeu de réduire ses impacts sur l'environnement tout en s'adaptant aux changements globaux. Dans ce contexte, l'irrigation est souvent présentée comme une stratégie d'adaptation au changement climatique, et peut nécessiter la mise en place de grandes infrastructures pour sécuriser les apports en eau sur les territoires agricoles. Ces aménagements peuvent générer des impacts environnementaux conséquents, et il est nécessaire de mener une évaluation environnementale *ex ante* pour identifier les scénarios « sans regrets », minimisant les impacts tout en maximisant les services rendus par ces aménagements sur l'ensemble de leur durée de vie. Cette évaluation peut être réalisée en mobilisant le cadre méthodologique de l'analyse du cycle de vie.

Qu'est-ce que l'analyse du cycle de vie (ACV), et comment est-ce adapté à l'évaluation environnementale des territoires ?

L'ACV est une méthode d'évaluation environnementale normalisée (ISO 14040 et 14044) et internationalement reconnue. Elle permet de quantifier les impacts envi-

ronnementaux d'un produit ou d'un service selon une perspective cycle de vie (i.e., de l'extraction des matières premières à la gestion des déchets) et multicritères. Une quinzaine de catégories d'impacts environnementaux sont considérées et peuvent être regroupées en domaines sur trois aires de protection, qui sont la santé humaine, la qualité des écosystèmes et l'épuisement des ressources. Ces impacts sont quantifiés au regard d'un service rendu afin de comparer des alternatives sur la base d'une même référence, i.e. la fonction du système étudié.

Initialement conçue pour évaluer des systèmes à des échelles « micro », le cadre méthodologique de l'ACV a été adapté pour quantifier les performances environnementales des territoires, et de scénarios d'aménagement associés. Un territoire peut être défini comme une interface entre un espace géographique et un groupe de parties prenantes qui le gèrent, l'utilisent et le développent. Un territoire a pour principale caractéristique d'être un système multifonctionnel rendant un ensemble de services pouvant être regroupés en grandes fonctions (ex. : fonction résidentielle, économique ou culturelle). Afin de tenir compte de cette spécificité, une des principales adaptations de l'ACV territoriale (ACV-T) repose

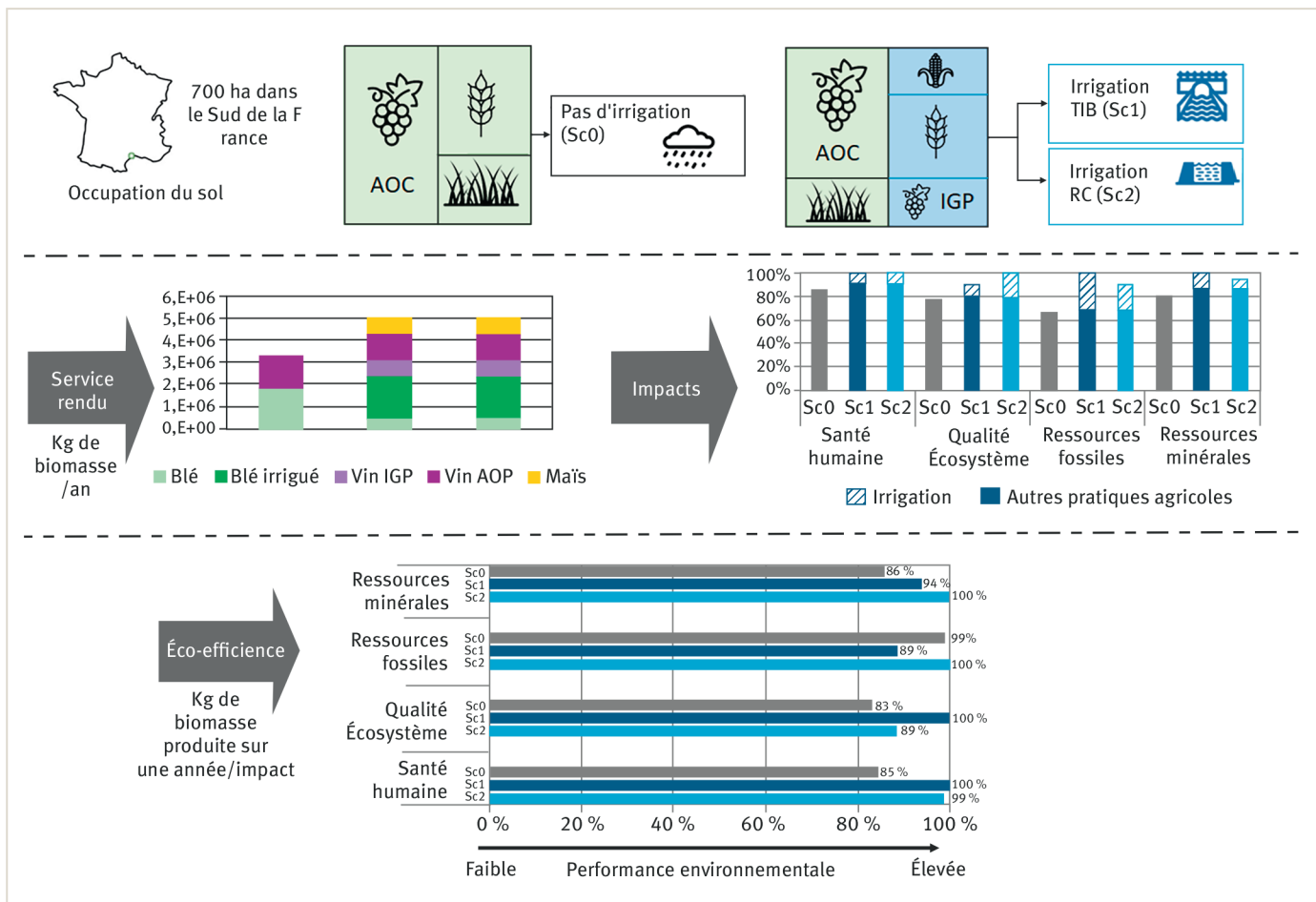
sur la quantification d'une éco-efficience pour un scénario d'aménagement donné, basée sur un ratio entre les services rendus par le scénario étudié et les impacts environnementaux générés. Appliquer l'ACV-T sur des scénarios d'aménagement permet d'identifier de potentiels transferts de pollution entre territoires, entre enjeux environnementaux et entre services rendus.

Quels apports de l'ACV territoriale pour comparer les performances environnementales de scénarios d'aménagement hydraulique ?

Le cadre de l'ACV-T a été appliqué sur un cas d'étude théorique, une zone agricole de 700 ha située dans le Sud de la France. L'étude menée dans le cadre d'une thèse (Rogy, 2023) avait pour objectif de comparer les performances environnementales de scénarios d'aménagement avec ou sans projet d'irrigation (figure 1). Dans le cas d'un aménagement hydraulique, deux infrastructures différentes ont été étudiées, un transfert interbassin (TIB) et une retenue collinaire. Le transfert interbassin (TIB) consiste en une conduite principale de

100 km enterrée entre la station de pompage et la zone irriguée. La retenue collinaire, d'une superficie de 9 ha, est approvisionnée par les ressources en eau du bassin versant. L'apport de l'irrigation permet de diversifier les cultures présentes sur la zone agricole, et d'augmenter les rendements. La surface agricole sans irrigation est occupée à 50 % par de la vigne AOC (appellation d'origine contrôlée), 40 % de blé et 10 % de jachère. Avec irrigation, 10 % de la surface en vigne AOC est convertie en IGP (indication géographique protégée) avec des plus hauts rendements permis par l'irrigation (dépassant le cahier des charges de l'AOC), 30 % des surfaces sont désormais occupées par du maïs irrigué, 10 % par du blé irrigué, et le reste par de la jachère. Pour chacun des trois scénarios étudiés, plusieurs ratios d'éco-efficience sont quantifiés, correspondant à différents dommages environnementaux pour un même service rendu, ici la quantité totale de biomasse produite sur une année. En termes de dommages, il s'agit de ceux habituellement quantifiés en ACV, i.e. i) la santé humaine, ii) la qualité des écosystèmes et iii) l'épuisement des ressources fossiles et minérales.

Figure 1 – Comparaison des performances environnementales de scénarios d'aménagement agricole avec ou sans mise en place d'infrastructure hydraulique (TIB = transfert Interbassin, RC = retenue collinaire) sur un cas d'étude théorique illustrant le type de résultats fournis pouvant être obtenus par l'ACV-T (évaluation à affiner sur un cas réel en considérant le contexte local). La performance environnementale est calculée sur la base d'un ratio d'éco-efficience entre la quantité totale de biomasse produite sur une année donnée et un dommage environnemental calculé à l'aide de la méthode IMPACT World+. Afin d'afficher les résultats d'éco-efficience sur un même graphique, ceux-ci sont normalisés par rapport au scénario le plus performant (à 100 %).



Les résultats montrent que dans tous les cas, le scénario sans irrigation est moins performant que les scénarios basés sur l'implantation de projets hydrauliques. Les impacts environnementaux supplémentaires générés par ces projets sont compensés par une production plus importante de biomasse (figure 1). À noter que les étapes du cycle de vie de la production agricole hors irrigation contribuent de manière significative aux impacts environnementaux des scénarios étudiés, et que ceux générés par la mise en place de l'irrigation sont moindre sur toutes les catégories étudiées. Les résultats d'éco-efficience sont plus contrastés entre les deux scénarios avec irrigation. L'analyse du nexus eau-énergie-infrastructure¹ met en évidence les compromis environnementaux entre les deux projets d'aménagement hydraulique. D'une part, le transfert interbassin permet d'utiliser une ressource en eau provenant d'une localisation ne présentant pas de stress hydrique, mais nécessite une forte consommation de matériaux et d'énergie pour acheminer l'eau sur une grande distance. D'autre part, la retenue collinaire mobilise moins de ressources minérales et fossiles tout en s'appuyant sur une ressource en eau plus rare, et une occupation de l'espace plus importante. Les performances des scénarios dépendent fortement du contexte local (comme la disponibilité en eau ou la localisation des ressources), et la démarche d'évaluation doit intégrer les contraintes territoriales pour identifier le scénario le plus éco-efficient.

Cette étude fictive souligne l'intérêt de l'ACV territoriale pour éco-concevoir des scénarios d'aménagement. Elle permet d'apporter des éléments objectifs sur les compromis entre services rendus et impacts environnementaux générés par des scénarios d'aménagement territorial. La production de biomasse est utilisée pour illustrer l'intérêt du concept d'éco-efficience, et d'autres services notamment en lien avec l'économie peuvent être quantifiés. Pour identifier les scénarios « sans regret », et analyser l'opportunité même de construire des infrastructures à longue durée de vie, il est nécessaire d'intégrer des approches prospectives tenant compte de l'évolution de l'environnement. Dans le cadre d'aménagement hydraulique, les effets du changement climatique peuvent impacter les performances de projets sur le moyen-long terme, notamment sur des territoires agricoles.

Dans quelle mesure les effets du changement climatique affectent les performances environnementales des scénarios d'irrigation ?

Le changement climatique peut affecter les systèmes agricoles de différentes manières. La hausse des températures, la modification des régimes de pluie, ou l'augmentation des aléas climatiques (ex. : gel, grêle, ou vague de chaleur) peuvent par exemple impacter de manière significative les rendements agricoles. Il semble important de prendre en compte ces effets lors de l'évaluation environnementale de scénarios d'aménagement hydraulique reposant sur la mise en œuvre d'infrastructures à longue durée de vie (cinquante ans minimum) pour sécuriser les apports en eau de territoires agricoles.

Une évaluation dynamique et prospective des performances environnementales d'un scénario d'irrigation dans un contexte de changement climatique permet ainsi d'analyser leur évolution, et de déterminer si les résultats d'une comparaison de scénarios d'aménagement avec ou sans infrastructure d'irrigation sont maintenus ou non dans le temps.

Dans cet objectif, un couplage innovant entre le modèle de croissance de culture AquaCrop², développé par la FAO³, et l'ACV-T a été mis en œuvre toujours sur le même cas d'étude théorique, une zone agricole dans le Sud de la France. AquaCrop permet de simuler les rendements et les besoins en eau de différentes cultures dans un contexte de changement climatique. Ce couplage a permis de comparer l'évolution des performances environnementales de deux scénarios, un scénario sans irrigation occupé par 90 % de blé et 10 % de jachère, et un scénario irrigué par un transfert interbassin permettant de cultiver 30 % de maïs irrigué, 60 % de blé irrigué (reste 10 % en jachère). Les éco-efficiences sont quantifiées sur un pas de temps annuel en prenant en compte un seul service rendu, la production annuelle de biomasse, et plusieurs catégories d'indicateurs d'impact dont le changement climatique, l'eutrophisation aquatique, l'utilisation des ressources minérales et la raréfaction des ressources en eau. Le scénario RCP (*Representative Concentration Pathway*) 8.5 défini par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) a été sélectionné pour simuler le climat futur. Il s'agit du cas le plus pessimiste en termes d'évolution des émissions de gaz à effet de serre, permettant d'étudier des scénarios extrêmes.

Les résultats présentés dans la figure 2 montrent tout d'abord que les performances environnementales d'un scénario sont affectées par le changement climatique, avec des effets plus ou moins marqués selon la catégorie d'impact sélectionnée.

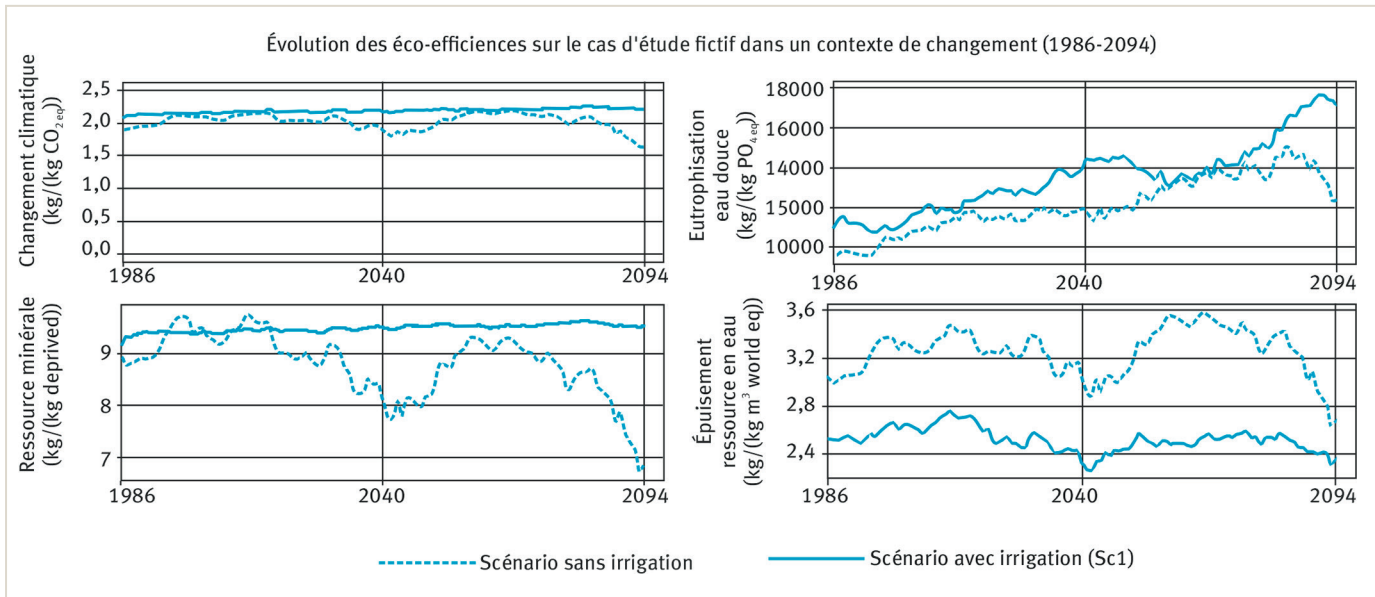
Pour le scénario avec irrigation, les performances environnementales ont tendance à augmenter dans le temps pour les éco-efficiences quantifiées pour les catégories d'impact « changement climatique », « eutrophisation » et « utilisation des ressources minérales ». En absence de stress hydrique, les rendements augmentent en raison de l'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère (fertilisation au CO₂). Cette production accrue de biomasse permet de contrebalancer les impacts additionnels générés par les phases de construction et de fonctionnement du transfert interbassin. Pour ces mêmes catégories d'impact, la comparaison avec le scénario sans irrigation montre un faible écart en termes de performance environnementale au début de la simulation avec pour certaines années, des résultats meilleurs dans le cas du scénario sans irrigation du fait de précipitations abondantes. Cependant, les écarts ont tendance à se creuser au cours du temps au profit du scénario avec irrigation qui permet de limiter les baisses de rendement engendrées par une variabilité plus importante en termes de précipitations dans un contexte de changement climatique.

1. L'expression de nexus désigne un ensemble d'idées, de concepts reliés entre eux et interconnectés.

2. <https://www.fao.org/aquacrop/fr/>

3. Organisation pour l'alimentation et l'agriculture.

Figure 2 – Évolution des performances environnementales de scénarios d'aménagement agricole avec ou sans projet d'irrigation dans un contexte de changement climatique (performance environnementale calculée sur la base d'un ratio d'éco-efficience entre la quantité totale de biomasse produite sur une année donnée et un impact environnemental calculé à l'aide de la méthode IMPACT World+).



Pour d'autres catégories d'impacts comme la raréfaction des ressources en eau montrée dans la figure 2, l'augmentation des rendements permise par l'irrigation ne peut pas contrebalancer les impacts générés par la consommation d'eau, et le scénario sans irrigation est toujours le plus performant.

Ces premiers résultats permettent de démontrer l'importance d'adopter des démarches d'évaluation dynamiques et prospectives pour quantifier les performances environnementales de scénarios d'aménagement afin d'apporter des éléments objectifs en amont des processus de décisions sur les besoins de mettre en place de grands infrastructures sur les territoires. Le changement climatique est un des enjeux environnementaux majeurs à intégrer, mais d'autres effets seraient également à prendre en compte dans l'évolution des performances environnementales comme la raréfaction des ressources en eau. ■

EN SAVOIR PLUS

Vidéos pédagogiques sur l'analyse du cycle de vie :

Qu'est-ce que l'approche cycle de vie ?

→ <https://youtu.be/iHq0LioDFwg>

Qu'est-ce que l'ACV territoriale ?

→ <https://youtu.be/9NzuZGY9XG4>

Comment l'ACV peut être une aide à la décision publique ?

→ <https://youtu.be/XI-HRBpOic0>

Ces travaux sont issus de la thèse de Nicolas Rogy

(2020-2023, soutenue le 14/12/2023

à l'Institut Agro de Montpellier :

« Évaluer les performances environnementales de scénarios d'aménagement dans un contexte de changement climatique : application aux périmètres irrigués agricoles »

→ <https://theses.fr/s303904>