



Développer des outils pour passer d'une politique de réaction à une politique d'anticipation des sécheresses

Contribution au PNACC - Axe 2 - Résilience des territoires et infrastructures.

4NK ENERGY

Décembre 2024



Introduction

Le changement climatique accentue les tensions sur les ressources en eau, affectant leur disponibilité et leur qualité. Dans de nombreuses régions françaises, particulièrement le sud-ouest, les sécheresses estivales prolongées menacent la stabilité agricole. La viticulture, emblématique dans ces territoires, voit ses rendements diminuer, fragilisant l'économie locale et l'identité des paysages.

Les approches traditionnelles, principalement réactives face aux crises, montrent leurs limites. Le Plan National d'Accompagnement au Changement Climatique (PNACC) appelle à une nouvelle approche, plus proactive, intégrée et résiliente, visant à réduire la vulnérabilité des territoires et à adapter l'agriculture aux défis hydriques et énergétiques à venir.

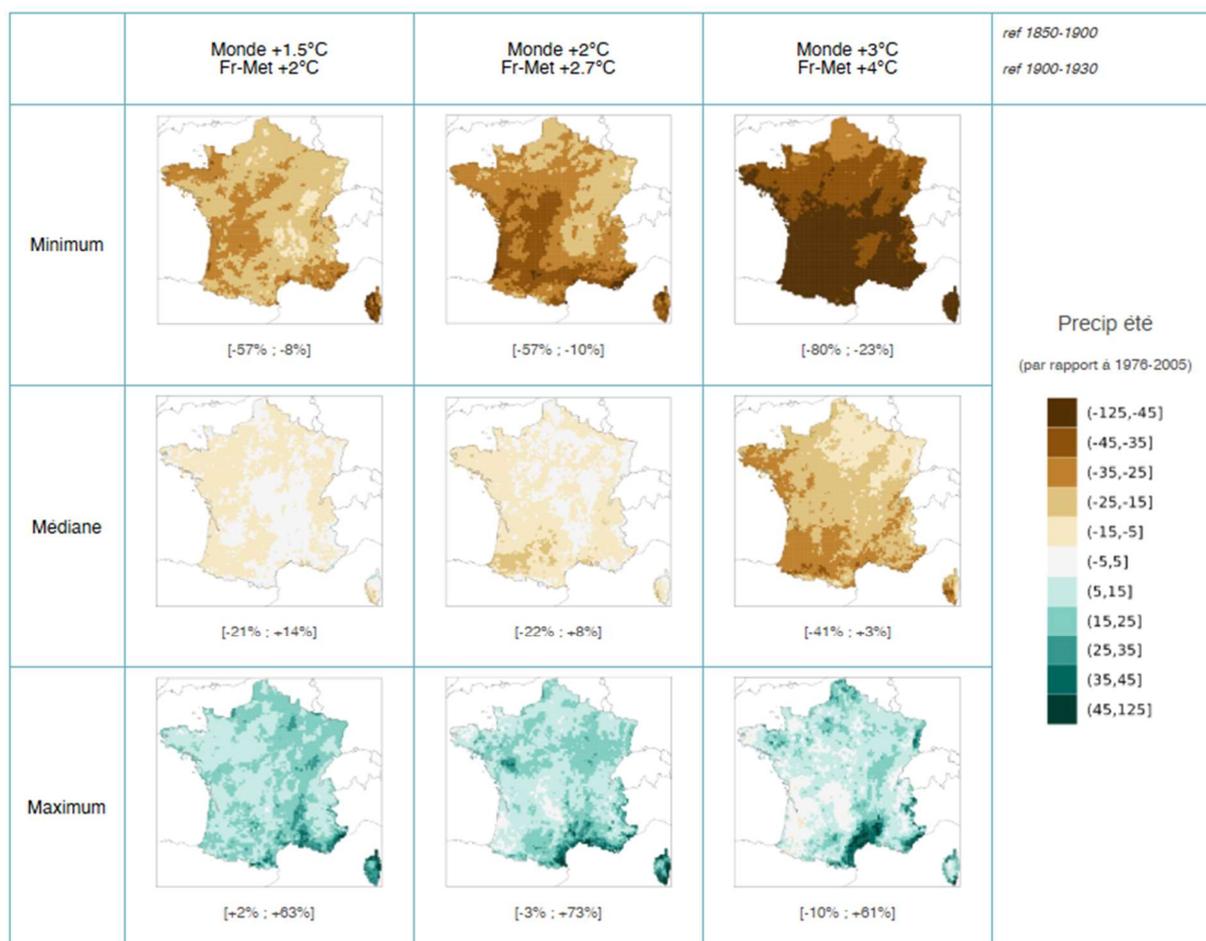
Ce cahier d'acteur propose une démarche en trois volets :

1. **Diagnostic des défis hydriques** : Comprendre la pénurie d'eau, l'aggravation des sécheresses, le retard français sur la Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) et les enjeux socio-économiques.
2. **Solutions déployables** : Présenter une approche innovante d'économie circulaire (projet 4NK ENERGY) s'appuyant sur la valorisation des déchets (boues de stations d'épuration, déchets verts), la production d'eau, d'énergie renouvelable (biogaz), d'amendements organiques, de spiruline, et l'usage de « data centers effaçables » (minage de Bitcoin) pour monétiser les surplus énergétiques.
3. **Analyse des résultats attendus** : Évaluer l'impact environnemental (réduction des émissions de GES, gestion durable de l'eau), économique (diversification des revenus, stabilisation des trésoreries agricoles) et sociétal (maintien de l'emploi, protection des paysages), ainsi que les perspectives d'intégration dans le cadre réglementaire existant.

L'objectif est de démontrer qu'une intégration intelligente des ressources, soutenue par des technologies simples, modulaires et facilement adaptables, peut créer les conditions d'une agriculture résiliente, sobre en eau, neutre en carbone et économiquement viable. C'est une voie concrète pour une agriculture durable, en accord avec les ambitions du PNACC.

I. Diagnostic : Les défis liés à la ressource en eau

Les projections climatiques montrent une baisse soutenue des précipitations estivales, particulièrement marquée dans le sud-ouest, accompagnée d'une fréquence accrue de sécheresses. Ce stress hydrique affecte lourdement l'agriculture, et plus spécifiquement la viticulture, qui dépend d'une irrigation fiable pour maintenir ses rendements et préserver son rôle économique et culturel.



Cartes des écarts relatifs de cumul estival de précipitation (référence 1976-2005). Les valeurs entre crochets indiquent les valeurs minimales et maximales locales de chacune des cartes. Source : drias-climat.fr

Par ailleurs, la France accuse un retard structurel dans l'utilisation de la réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Alors que certains pays européens ont largement intégré cette pratique dans leur gestion des ressources hydriques, le cadre réglementaire et technique français reste sous-développé, limitant les possibilités d'adaptation. Ces lacunes dans la gestion proactive de l'eau accentuent la vulnérabilité des territoires face aux sécheresses répétées.

II. Des solutions locales et innovantes : le projet 4NK ENERGY

Un dispositif technique simple et modulaire : la micro-station décentralisée

Le cœur du projet repose sur une station de petite taille, mobile, modulaire, facilement intégrable dans le paysage rural. Cette micro-station fonctionne de manière autonome ou quasi-autonome, grâce à l'énergie produite sur place (biogaz), sans nécessiter de gros travaux d'infrastructure. Elle est conçue pour être déployée près des exploitations agricoles ou des coopératives viticoles, offrant ainsi un accès direct aux ressources produites (eau, amendements, énergie).



Que traite cette micro-station ?

- **Les boues de stations d'épuration** : Au lieu d'être simplement transportées et traitées à grands frais, elles sont récupérées localement. On en extrait de l'eau, on produit du biogaz et on obtient des amendements organiques utiles aux sols.
- **Les déchets verts** : Feuillages, branches, résidus de taille, tontes, etc. Ces déchets sont généralement coûteux à éliminer. La micro-station les valorise en biogaz et en compost enrichi, évitant ainsi des coûts de traitement élevés pour les collectivités.
- **L'eau issue de la pasteurisation et du traitement** : L'eau est rare, surtout en contexte méditerranéen. Ici, l'eau contenue dans les boues ou les déchets est extraite, pasteurisée (70°C, 8h), purifiée (UV, cultures de champignons et de plantes dépolluantes) avant d'être réutilisée en irrigation. Cet apport d'eau « locale » réduit la pression sur les nappes souterraines, diminue le besoin d'import d'eau et favorise la diversification des cultures agricoles.

Des innovations pour une efficacité maximale

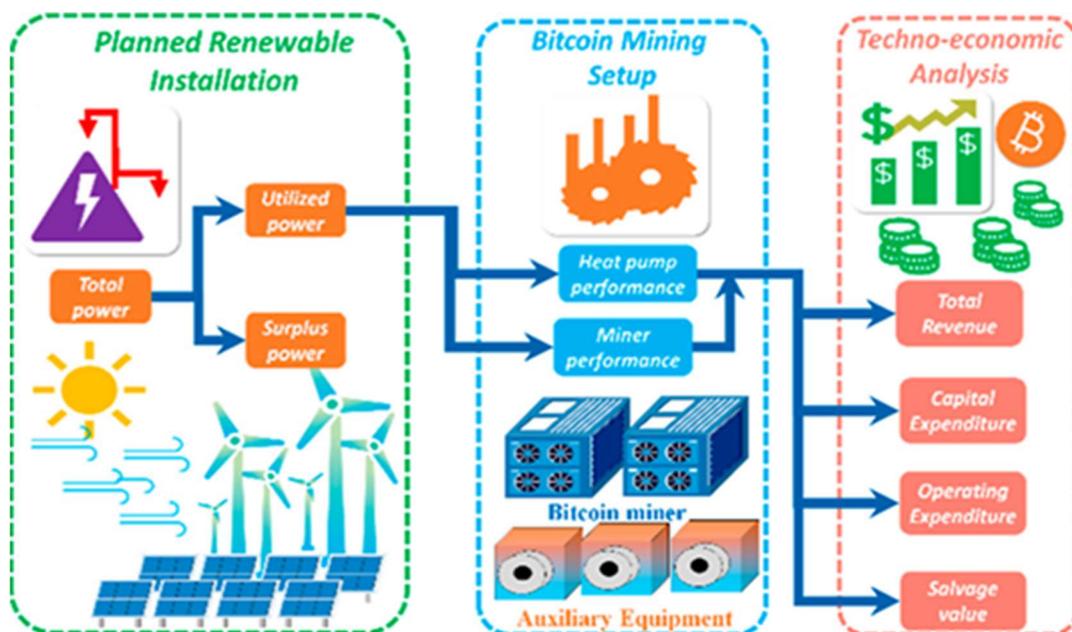
- **Méthanisation thermophile** : Les boues et déchets verts sont méthanisés à 55°C, produisant un biogaz riche en méthane. Cette source d'énergie permet d'alimenter un brûleur pour la pasteurisation, un générateur électrique, et même des bornes de recharge pour véhicules électriques.
- **Réutilisation des eaux usées traitées** : Selon la réglementation récente (REUT), l'eau réutilisée pour l'irrigation doit répondre à des normes sanitaires strictes. La micro-station respecte ces critères et ainsi sécurise l'approvisionnement en eau pour les cultures.
- **Cultures de spiruline** : La spiruline est une micro-algue à très forte valeur ajoutée, demandée dans l'alimentation, la cosmétique et les compléments alimentaires. En utilisant le CO₂ et la chaleur issus de la production d'énergie locale, la micro-station permet de produire de la spiruline sur place. Cette production génère des revenus supplémentaires et participe à la séquestration du CO₂.
- **Mycoremédiation et phytoextraction** : Ces procédés naturels utilisent des champignons (comme les pleurotes) et certaines plantes (moutarde, trèfle, ray-grass) pour dégrader les traces de médicaments ou pour extraire les métaux lourds des boues, améliorant encore la qualité des produits finaux (eau, amendements).

Les « data centers effaçables » : le rôle du minage de Bitcoin dans cette économie circulaire

Un aspect novateur du dispositif concerne l'utilisation de centres de calcul informatiques flexibles, dédiés au minage de Bitcoin. Contrairement aux data centers classiques, qui doivent fonctionner en continu, ceux dédiés au minage peuvent être arrêtés à tout moment sans impact sur la qualité du service.

Comment cela fonctionne ? La micro-station produit du biogaz et donc de l'électricité. S'il y a un surplus d'énergie qui n'est pas utilisé sur l'instant (par exemple la nuit, ou quand la demande est faible), plutôt que de le perdre, on l'utilise pour alimenter des ordinateurs dédiés à la résolution de puzzles cryptographiques (Bitcoin).

- **Pourquoi c'est utile ?** Ces « data centers effaçables » ne sont activés que lors de surplus énergétiques. Ainsi, on convertit une énergie qui aurait été perdue en revenus financiers directs. C'est comme « stocker » l'énergie sous forme de valeur numérique, en monétisant des kilowatts qui, autrement, seraient gaspillés.
- **Effaçables énergétiquement ?** Oui. Lorsqu'un besoin prioritaire apparaît (par exemple, alimenter la pasteurisation ou l'irrigation), les ordinateurs de minage sont simplement éteints. Dès que l'énergie redevient disponible en excédent, on les rallume. Les datacenters classiques n'offrent pas cette flexibilité.
- **Bénéfices et limites :** Cette flexibilité énergétique permet une exploitation intégrale de la production d'énergie renouvelable locale, sans perte. Le minage de Bitcoin, souvent critiqué pour son intensité énergétique (liée à la méconnaissance de sa capacité d'ajustement dynamique de la difficulté), montre une réalité différente : il est un outil économique au service de la transition énergétique, valorisant chaque kilowatt utilement et en harmonie avec les besoins agricoles.



*From Mining to Mitigation: How Bitcoin Can Support Renewable Energy Development and Climate Action ;
Cornell University ; published as part of the ACS Sustainable Chemistry and Engineering*

III. Impacts économiques, environnementaux et sociétaux

- **Économie pour les agriculteurs et les territoires :**
 - Réduction des coûts d'approvisionnement en eau et en amendements.
 - Création de nouvelles sources de revenus (biogaz, spiruline, valorisation des boues et déchets verts, vente éventuelle de biogaz ou d'électricité).
 - Soutien à la diversification agricole, donc plus de résilience face aux changements climatiques et aux évolutions du marché.
 - Mise en place de partenariats inédits entre agriculteurs, coopératives, collectivités, opérateurs de stations d'épuration et acteurs du secteur énergétique.
- **Environnement :**
 - Réduction significative des émissions de gaz à effet de serre grâce à la récupération du méthane contenu dans les boues et les déchets verts. Sans méthanisation, ce méthane se disperserait dans l'atmosphère, contribuant au réchauffement climatique. Ici, on l'utilise comme source d'énergie renouvelable.
 - Restauration des sols par des amendements organiques de qualité, issus du processus, améliorant la structure des sols, leur capacité à retenir l'eau, leur résilience face à la sécheresse, et favorisant ainsi la pérennité de l'agriculture locale.
 - Diminution de la pression sur les ressources en eau, grâce à la réutilisation et à la valorisation d'eaux usées traitées.
- **Sociétal :**
 - Maintien et création d'emplois locaux (maintenance des stations, culture de la spiruline, activités de transformation).
 - Stabilisation de l'économie locale, maintien du paysage rural (présence de vignes et d'autres cultures), renforcement de l'identité territoriale.
 - Contribution aux objectifs nationaux (PNACC) et européens (transition énergétique, réduction de la dépendance aux énergies fossiles, gestion durable de l'eau).

Cadre réglementaire et perspectives

- Le projet s'inscrit dans le cadre des réglementations françaises et européennes visant à mieux gérer les ressources en eau, réduire les pollutions et encourager les énergies renouvelables.
- La France est en retard sur la réutilisation des eaux usées traitées par rapport à certains pays méditerranéens. Le dispositif proposé répond aux recommandations et ambitions du Plan Eau national, ainsi qu'à l'objectif de développer rapidement la REUT (Réutilisation des Eaux Usées Traitées) sur le littoral et en zones sensibles.
- La station étant modulaire, elle peut évoluer avec le cadre législatif, s'adapter à de nouvelles filières (nouveaux types de déchets, nouvelles cultures) ou intégrer d'autres technologies (ex. : utilisation de la chaleur fatale des ordinateurs pour d'autres processus).
- Des tests complémentaires, des analyses précises et des expérimentations grandeur nature sont prévus, avec le soutien de grands opérateurs comme Véolia et Suez, afin de démontrer la viabilité technique, économique et écologique du système à grande échelle.

Conclusion

Ce projet propose une voie concrète pour affronter les défis du changement climatique en agriculture : manque d'eau, érosion des marges des producteurs, hausse des coûts énergétiques, difficultés de diversification. Grâce à une station de micro-méthanisation décentralisée, la valorisation des déchets (boues, déchets verts) devient une opportunité de créer de l'énergie, de l'eau, des amendements organiques, des produits à forte valeur (spiruline), le tout en s'appuyant sur des approches naturelles (champignons, plantes) et robuste comme le minage de Bitcoin.

Cela démontre qu'il est possible de conjuguer modernité, respect de l'environnement, adaptabilité, sobriété énergétique et équilibre économique. Dans le cadre du Plan National d'Accompagnement au Changement Climatique, cette initiative illustre comment la mutualisation, l'innovation et l'économie circulaire peuvent offrir aux agriculteurs et aux territoires une marge de manœuvre pour s'adapter, garantir un futur plus résilient et construire une agriculture de demain, durable et prospère.



Ressources

Plusieurs études académiques revues par des pairs d'université de renom soulignent que le minage de Bitcoin peut agir comme un « stockage virtuel » et réduire le gaspillage énergétique, accélérer le développement des énergies peu carbonées et renforcer la stabilité des réseaux, sans qu'aucune étude scientifique de même rigueur ne suggère le contraire.

How Bitcoin Can Support Renewable Energy Development and Climate Action

Source : Cornell University

- - Le minage de Bitcoin aide les développeurs d'énergies renouvelables à générer des profits supplémentaires.
- - Ces profits sont souvent réinvestis, accélérant ainsi la transition vers les énergies renouvelables.

Cryptocurrency Mining as a Novel Virtual Energy Storage System in Islanded and Grid-Connected Microgrids

Source : Sharif University of Technology

- - L'utilisation du minage de Bitcoin élimine presque tout gaspillage d'énergie renouvelable dans les micro-réseaux.
- - Réduction des coûts des micro-réseaux de 46 %, tout en accélérant leur développement et leur décarbonisation.

An Integrated Landfill Gas-to-Energy and Bitcoin Mining Framework

- - Le minage de Bitcoin permet de réduire de manière rentable les émissions de méthane des décharges.
- - Les solutions proposées sont efficaces là où d'autres technologies échouent, apportant des bénéfices environnementaux directs.

High Resolution Modeling and Analysis of Cryptocurrency Mining's Impact on Power Grids

Source : Texas A&M University

- - Le minage de Bitcoin améliore la fiabilité et la stabilité des réseaux électriques grâce à sa flexibilité.
- - Les services auxiliaires de réponse à la demande fournis par le minage atténuent la volatilité des prix sur le marché de l'électricité.

Promoting Rigor in Blockchain Energy and Environmental Footprint Research

Source : Open University of the Netherlands

- - Expose les failles méthodologiques des critiques souvent citées contre le minage de Bitcoin (ex. Alex de Vries/Digiconomist).
- - Renforce la nécessité d'une recherche basée sur des données fiables et rigoureuses.

Bitcoin's Carbon Footprint Revisited : Proof of Work Mining for Renewable Energy Expansion

Source : University College London

- - Il y a un rôle possible pour le minage dans la promotion de la décarbonation du réseau

Can bitcoin Mining increase renewable capacity?

Source : University of North Carolina Chapel Hill

- - le minage de Bitcoin peut augmenter la pénétration des ENR
- - élimine le besoin de centrales de pointe au gaz