
Rapport de stage individuel

4^{ème} année

L'électricité renouvelable dans l'Oise

Syndicat d'Energie de l'Oise
9164 Avenue des Censives, 60000 Tillé



Tuteur entreprise :
CARON Guerric
Chargé de Planification Territoriale

THOIRAIN Yannis
IUT
2023-2024

Tuteur académique :
LEHEC Elisabeth

Remerciements

Premièrement, je remercie Madame Sabine Blanchard, directrice générale des services du Syndicat d'Énergie de l'Oise, d'avoir accepté ma candidature pour ce stage, ainsi que Madame Céline Demouy qui m'a transmis l'offre de stage et m'a ainsi permis de réaliser cette expérience.

Je remercie chaleureusement Monsieur Guerric Caron et Madame Elise Pelletier, chargés de planification territoriale, pour leur bienveillance, leurs conseils, leur disponibilité, et les opportunités d'assister à des formations qu'ils m'ont offertes.

Je tiens également à adresser ma gratitude envers l'ensemble du pôle énergie pour leur accueil, et l'ambiance générale du bureau ce qui a facilité mon intégration.

Enfin, je remercie l'ensemble des agents du syndicat avec qui j'ai pu échanger, que ce soit pour le temps déployé ou leur sympathie toujours bien marqué.

Résumé

Dans le cadre de la transition énergétique, concept général qui englobe l'ensemble des énergies et comprend à la fois la consommation et la production, nous allons nous intéresser à l'avenir de la production d'électricité dans l'Oise. Dans un premier temps, l'objectif est de transposer les scénarios nationaux de futurs électriques conçus par RTE à l'échelle départementale et de les traduire en termes d'infrastructures énergétiques locales. Dans un second temps, nous examinerons la filière technologique émergente que représente l'agrivoltaïsme pour mieux comprendre son potentiel, ses enjeux, et la place qu'elle peut occuper sur le territoire.

Abstract

In the context of the energy transition, which includes all types of energy and both consumption and production, we will focus on the future of electricity generation in the department of Oise. First, the goal is to adapt existing national energy scenarios by RTE to the local level and translate these into specific energy infrastructure for the department. Next, we will explore the emerging field of agrivoltaics to better understand its potential, its challenges, and the role it can play in the region's energy landscape.

Table des matières

1. Introduction	5
1.1 Présentation de l'organisme d'accueil	5
1.2 Description et intérêt des missions	7
2. Déclinaison des scénarios RTE à l'échelle de l'Oise	7
2.1 Les scénarios de « Futurs Énergétiques » par RTE	7
2.2 Détermination des gisements en énergie renouvelable dans l'Oise	8
2.2.1 L'hydroélectricité	8
2.2.2 L'éolien	9
2.2.3 Le solaire photovoltaïque	10
2.2.4 Les bioénergies	11
2.2.5 Les autres énergies renouvelables	12
2.3 Les scénarios à l'échelle de l'Oise	12
2.3.1 Première déclinaison brute	12
2.3.2 Des adaptations au contexte de l'Oise	12
2.3.3 Les mix électriques de l'Oise en 2050 selon les scénarios RTE	13
2.4 Les projections en nombre d'installations : le dimensionnement	14
2.4.1 L'éolien	14
2.4.2 Le solaire photovoltaïque	14
2.4.3 Les bioénergies : méthanisation en cogénération	15
2.5 Simulation des scénarios via l'outil Prosper	16
2.5.1 Présentation de l'outil Prosper	16
2.5.2 L'utilisation de Prosper dans l'élaboration des scénarios	17
2.6 Résultat et utilisation par les EPCI	18
3. L'agrivoltaïsme dans l'Oise : potentiel et objectifs	19
3.1 Introduction à l'agrivoltaïsme	19
3.1.1 Le décret n° 2024-318	19
3.1.2 Déroulement d'un projet agrivoltaïque et descriptions des différents acteurs	20
3.2 Les technologies de l'agrivoltaïsme	21
3.2.1 Présentation des principales technologies agrivoltaïques	21
3.2.2 Densité de puissances des différentes installations	23
3.3 Estimation du potentiel et de l'ambition agrivoltaïque de l'Oise	24
3.3.1 Détermination des taux de couverture par culture	24
3.3.2 Les types d'exploitations sujettes à un projet agrivoltaïque	25
3.3.3 Calcul du potentiel	25
3.3.4 L'objectif pour l'agrivoltaïsme	27
4. Immersion, formations et retour d'expérience	28

Liste des abréviations

CA : Communauté d'Agglomération

CC : Communauté de Communes

EnR : Energie Renouvelable

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

EPE : Etude de Planification Energétique

GES : Gaz à effet de serre

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

LCOE : Levelized Cost of Energy (Coût actualisé de l'énergie)

PCAET : Plan Climat-Air-Energie Territorial

RTE : Réseau de Transport d'Electricité

SAU : Surface Agricole Utile

SE60 : Syndicat de l'Energie de l'Oise

SRE : Schéma Régional Eolien

ZFE : Zone favorable à l'Eolien

1. Introduction

1.1 Présentation de l'organisme d'accueil

J'ai effectué mon stage de 4^{ème} année au sein du Syndicat d'Energie de l'Oise (SE60). Le SE60 est un organisme public, créé en 1995, et basé à Tillé, au nord de Beauvais.



Figure 1 : Bâtiment du Syndicat de l'Energie de l'Oise (©SE60)

Depuis l'adoption de la loi sur l'organisation du service public de l'électricité en 1946, les communes françaises ont l'obligation de fournir de l'électricité à leurs habitants. Cette fourniture se fait généralement en partenariat avec un acteur externe à la commune. Ici, les communes, par le biais d'un transfert de compétence, délèguent la gestion de leurs réseaux électriques au SE60, qui en devient le propriétaire, et qui assure ainsi la fourniture d'électricité aux 441 communes membres. C'est d'ailleurs son rôle principal et historique.

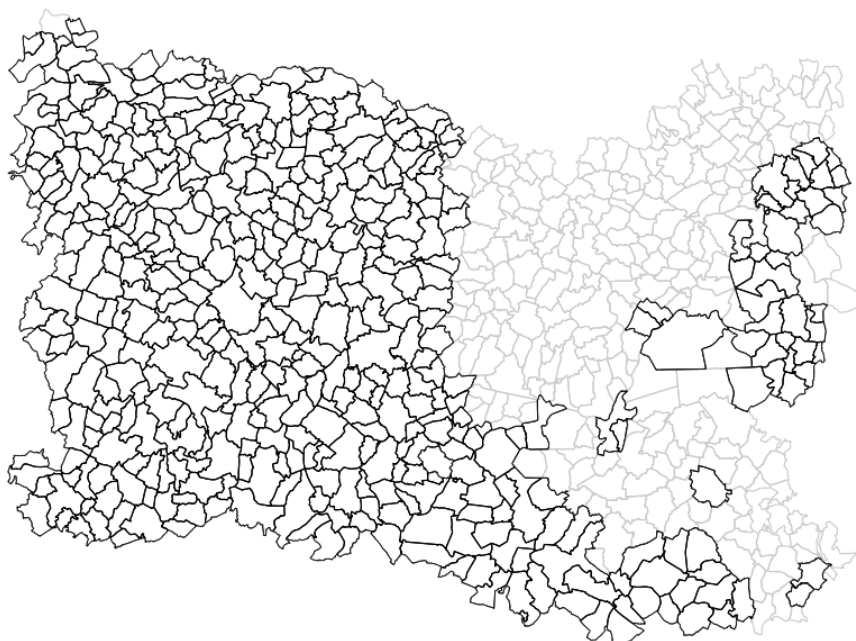


Figure 2 : Carte de l'Oise, avec une mise en évidence des communes affiliées au SE60

Toutefois, ces dernières années, le champ d'action du SE60 s'est élargi. Le syndicat propose désormais d'accompagner les élus dans la transition énergétique, de s'occuper de l'éclairage public, de l'achat d'énergie et s'est également tourné vers le véhicule électrique en développant (toujours actuellement) le réseau de bornes de recharge Mouv'Oise.

Le syndicat est un acteur à l'échelle départementale mais qui collabore sur de nombreuses thématiques avec quatre autres syndicats de la région Hauts-de-France. Au niveau de son fonctionnement, le SE60 est piloté par deux principales instances : le Bureau et le Comité Syndical. Enfin, pour ce qui est du financement, le budget du SE60 repose principalement sur les revenus versés par Enedis pour l'utilisation des réseaux, sur la TCFE (Taxe sur la Consommation Finale d'Électricité) payée par les consommateurs, ainsi que sur la participation des collectivités, souvent indirectement soutenues par des subventions (voir **Annexe 1** pour visualiser le découpage administratif de l'Oise et du SE60).

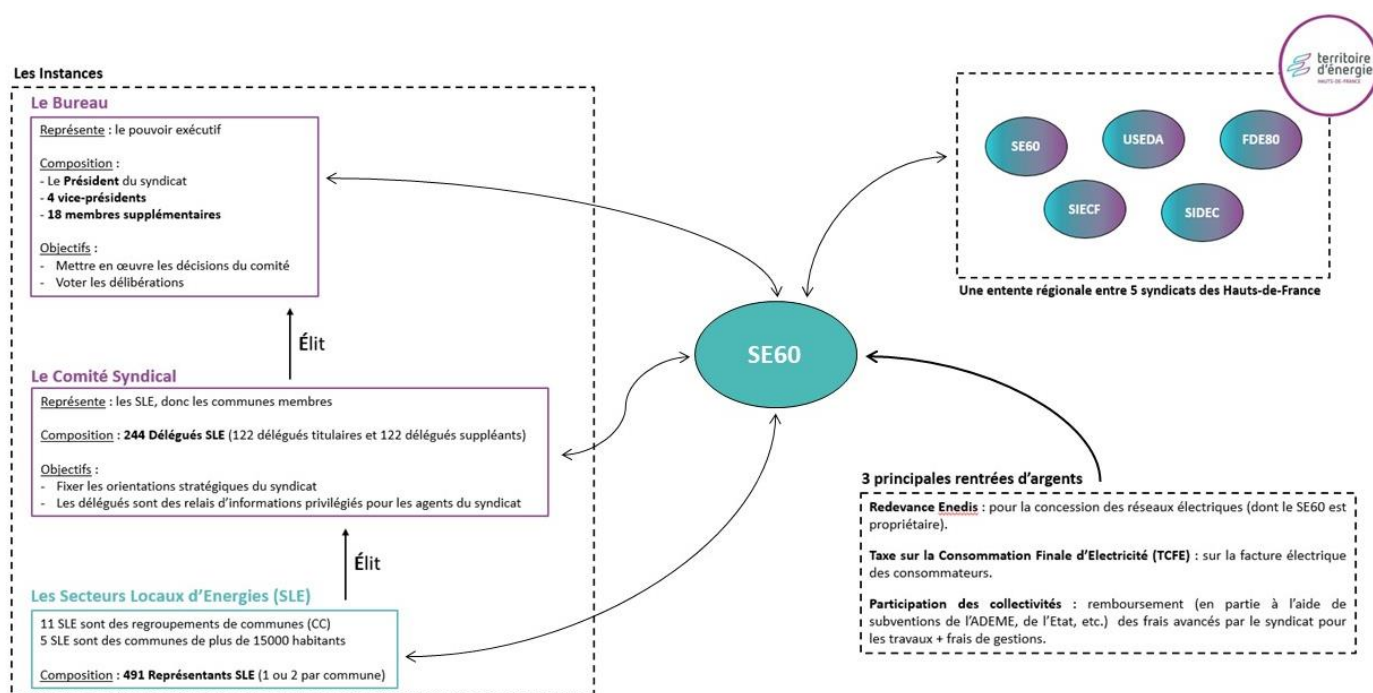


Figure 3 : Fonctionnement schématique du SE60 (©Yannis Thoirain)

Au niveau de l'organisation interne, le SE60 se divise en deux parties :

- **Les pôles fonctionnels** : ils comprennent l'ensemble des services liés aux finances, aux ressources humaines, à la communication ou encore à l'informatique.
- **Les pôles opérationnels** : ils sont chargés des missions du syndicat. On y retrouve quatre pôles, chacun associé à des missions spécifiques, dont le pôle énergie au sein duquel j'ai réalisé l'entièreté de mon stage.

Enfin, le pôle énergie se divise lui-même en deux services, l'un s'occupant des conseils aux collectivités sur le secteur du bâtiment et du photovoltaïque, l'autre étant chargé de la planification territoriale avec des interventions auprès des élus et des chargés de missions sur le domaine de la transition énergétique. Durant mon stage, j'ai été placé sous la responsabilité des deux agents du service planification territoriale que sont Elise PELLETIER et Gueric CARON, mon tuteur de stage. Ils ont choisi mes missions et ont veillé au bon déroulé de mon stage.

1.2 Description et intérêt des missions

Durant mon stage j'ai principalement travaillé sur les deux missions suivantes :

- **Décliner, à l'échelle de l'Oise, les six scénarios RTE de mix énergétique à l'horizon 2050**

L'objectif de la mission est de fournir aux collectivités des indications sur les objectifs en termes d'énergies renouvelables en fonction de la politique énergétique globale choisie par le gouvernement et/ou de l'orientation énergétique que les élus souhaitent donner à leur territoire. Bien qu'il soit peu probable qu'un des scénarios proposés par RTE soit suivi à la lettre, la permet d'offrir aux élus locaux un large éventail de solutions bien échelonnées et permet ainsi aux EPCI de se situer par rapport à des scénarios plus ou moins ambitieux concernant les énergies renouvelables. De cette manière, les collectivités peuvent comprendre le chemin « minimum » à parcourir (en comparaison avec le scénario le moins ambitieux en matière de développement EnR) ainsi que les efforts potentiels les plus importants (en comparaison avec le scénario le plus ambitieux).

- **Etablir le potentiel agrivoltaïque de l'Oise, notamment grâce à un travail de recherche bibliographique**

L'objectif de la mission est de parcourir la littérature existante sur le sujet afin, d'une part, de comprendre et de connaître les enjeux liés à la pratique, et d'autre part, d'estimer le potentiel de l'agrivoltaïsme dans l'Oise tout en respectant rigoureusement le cadre législatif. L'idée est surtout de s'appuyer sur les résultats obtenus dans la première mission afin de déterminer dans quelle mesure ce potentiel doit être déployé. Avec cet indicateur le syndicat sera alors en mesure de mieux situer la place de l'agrivoltaïsme dans le cadre de la transition énergétique afin de l'encadrer de manière judicieuse.

Etant donné les liens qui existent entre l'une et l'autre de ces missions, j'ai travaillé sur ces deux tâches en parallèle. Cependant, afin de faciliter la lecture de ce rapport, je vais détailler chaque mission séparément.

2. Déclinaison des scénarios RTE à l'échelle de l'Oise

2.1 Les scénarios de « Futurs Énergétiques » par RTE

Crée en 2000, RTE (Réseau de Transport d'Électricité) est une entreprise française responsable de la gestion et de l'exploitation du réseau de transport d'électricité haute (HTB) et très haute tension (HTB2). D'ailleurs RTE est l'unique gestionnaire de ces réseaux. Son rôle est d'assurer la transmission de l'électricité produite par les centrales électriques vers les réseaux de distribution, moyennes et basses tensions, qui alimentent les consommateurs finaux.

En 2021, après deux années d'élaboration, RTE a publié son outil de prévision des futurs énergétiques pour 2050 [1]. Cet outil propose 6 options de mix de production électrique, ainsi que 3 trajectoires de consommation (bien plus difficiles à prévoir). Un scénario est en réalité une combinaison d'un mix de production et d'une trajectoire de consommation, ce qui offre un total de 18 scénarios. Dans tous les scénarios, l'objectif reste toujours d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

Dans le cadre de mon stage, j'ai étudié l'ensemble des différents mix de production en fixant la consommation sur la « trajectoire de référence ». Parmi ces mix de production, trois se concentrent fortement sur les EnR, dont le scénario M0 qui vise une production 100% EnR, et n'envisagent pas de relance de l'énergie nucléaire, tandis que les trois autres accordent une part plus ou moins importante au nucléaire à l'avenir, allant jusqu'à un mix 50% nucléaire et 50% EnR (scénario N03).

Les mix de production électrique incluent huit types d'énergies : l'éolien terrestre, l'éolien en mer, l'hydraulique, le photovoltaïque, le thermique, le nucléaire, les bioénergies, et enfin les énergies marines. Le mix part d'un état initial, celui de 2019, puis son évolution est présentée toute les décennies, avec deux dates qui nous intéressent particulièrement : 2030 et 2050. La composition détaillée des 6 mix de production électrique, à l'échelle nationale, est fournie en **Annexe 2**.

Enfin, dans le contexte de ma mission, seule la question des énergies renouvelables a été étudiée, car la production électrique via les centrales thermiques fossiles est résiduelle dans l'ensemble des scénarios RTE (et ne représente certainement pas une solution d'avenir) et l'énergie nucléaire est produite de manière centralisée dans des grands parcs.

2.2 Détermination des gisements en énergie renouvelable dans l'Oise

Avant de décliner les scénarios à l'échelle de l'Oise, j'ai préalablement déterminé les différents gisements en EnR du département. Cette étape permet de connaître le potentiel brut des énergies et, si nécessaire, d'adapter les différentes parts du mix électrique en conséquence. L'objectif du SE60 étant aussi d'accompagner les collectivités, les gisements par EPCI ont été découpés afin de connaître le potentiel propre à chaque collectivité en termes d'éolien, de photovoltaïque et d'hydro-électricité. Ce travail avait déjà été réalisé dans le cadre d'Études de Planification Énergétique (EPE) à l'échelle des communautés de communes. Cependant, elles ne couvraient que 15 des 21 EPCI, et certains résultats, notamment pour l'éolien, se sont parfois révélés incohérents. Les rapports des EPE ont donc été utilisés pour extraire certaines données ou méthodes, tout en recalculant une grande partie des valeurs et en complétant les informations manquantes.

2.2.1 L'hydroélectricité

Le potentiel hydroélectrique a été déterminé en prenant en compte toutes les chutes d'eau d'une hauteur supérieure à 1 mètre. Ces points ont été identifiés grâce au logiciel QGIS. La puissance installable à chaque point peut ensuite être calculée à l'aide d'une formule comprenant la hauteur de chute et le débit du fleuve. Bien que les valeurs de production annuelle aient principalement été tirées des EPE, les calculs étant généralement corrects pour cette énergie, ce recensement a permis de créer un fichier regroupant toutes les installations hydroélectriques pertinentes possibles, avec pour chacune d'elles, sa localisation, sa hauteur de chute, le débit du fleuve en question, sa puissance et donc sa production électrique annuelle.

Après calcul, le gisement hydroélectrique de l'Oise s'élève à 23 GWh/an.

Ce gisement n'est pas exploité, ou alors très marginalement, on peut donc considérer que 100% du gisement est encore disponible. Aussi, il est important de noter qu'environ 70% du total se concentre sur 3 installations potentielles, toutes situées sur la rivière de l'Oise :

- Le barrage de Creil, à Creil (CA Creil Sud Oise)
- Le barrage de Venette, à Venette (CA de la Région de Compiègne)
- Le barrage de Verberie, à Compiègne (CA de la Région de Compiègne)

Toutefois, en raison de la faiblesse de ce gisement par rapport aux 62,5 TWh produits par l'hydroélectricité en France en 2021 [2], ainsi que des préoccupations concernant l'impact environnemental de ces installations, notamment sur la biodiversité, il a été décidé, dans l'étude présentée ici, qu'aucune exploitation de ce gisement ne serait envisagée dans l'ensemble des scénarios à l'échelle de l'Oise.

2.2.2 L'éolien

Pour l'énergie éolienne c'est la totalité de la production électrique annuelle qui a été recalculée en utilisant la méthode proposée dans les EPE, qui est la suivante :

- Partir des Zones Favorables à l'Eolien (ZFE) définies dans le Schéma Régional Eolien (SRE)
- Considérer uniquement les ZFE située à plus de 500 mètres des habitations
- Prendre une densité de puissance de 0,075 MW/ha (Une éolienne de 3MW pour 40ha¹)
- Calculer la production annuelle avec un facteur de charge de 22,5%

J'ai également considéré que les zones isolées de moins de 120 hectares n'étaient pas propices à l'installation d'un parc éolien, elles n'ont donc pas été prises en compte.

Le fait de recalculer l'ensemble des valeurs m'a permis de déterminer le gisement pour l'ensemble des EPCI, dont trois sont concernés par les ZFE mais n'ont pas fait l'objet d'une EPE, et de mettre en évidence trois valeurs incohérentes présentes dans les EPE (erreur sur les surfaces concernées ou sur la densité de puissance).

Après calcul, le gisement éolien de l'Oise s'élève à 5500 GWh/an.

Le découpage de ce gisement est réparti de manière très hétérogène dans le département, justement car certains EPCI ne sont pas concernés par les ZFE et obtiennent donc un potentiel nul.

Cette décomposition par EPCI est primordiale pour établir de manière plus fine les possibilités des différentes collectivités. Le tableau complet de cette décomposition, pour l'ensemble des énergies concernées est disponible en **Annexe 3**.

EPCI	Éolien	
	GWh/an	%
CA Creil Sud Oise	0	0
CA de la Région de Compiègne et de la Basse Automne	0	0
CA du Beauvaisis	517,08	9
CC de la Picardie Verte	1434,6	26
CC de la Plaine d'Estrées	380,4	7
CC de l'Aire Cantilienne	0	0
CC de l'Oise Picardie	1289,88	23
CC des Deux Vallées	0	0
CC des Lisières de l'Oise	0	0
CC des Pays d'Oise et d'Halatte	172,32	3
CC des Sablons	0	0
CC du Clermontois	330,24	6
CC du Liancourtois - Vallée Dorée	0	0
CC du Pays de Bray	0	0
CC du Pays de Valois	75,48	1
CC du Pays des Sources	536,88	10
CC du Pays Noyonnais	64,2	1
CC du Plateau Picard	698,16	13
CC du Vexin-Thelle	0	0
CC Senlis Sud Oise	0	0
CC Thelloise	0	0
Sous-total	5499	
Total	5499	

Tableau 1 : Gisement des différents EPCI de l'Oise en termes d'éolien

Le département a connu un développement important de cette énergie sur la dernière décennie, ce qui fait qu'en 2023, l'ensemble des 267 éoliennes installées [3] produisait déjà 1050 GWh/an. On peut donc considérer que ce gisement est déjà exploité à hauteur de 20%.

Bien que l'énergie éolienne soit l'énergie renouvelable ayant le plus fort potentiel dans l'Oise, et plus largement dans la région des Hauts-de-France, elle fait face à une méfiance de la part des habitants, en partie à cause des mauvaises pratiques et des idées reçues qui défavorisent parfois son acceptabilité. Aussi, l'éolien peut également représenter une menace pour le paysage et pour la faune (notamment pour les oiseaux), c'est pourquoi il faut éviter d'installer des éoliennes dans des couloirs de migration. En revanche le secteur de l'éolien bénéficie d'avancées technologiques offrant aux éolienne une puissance plus importante qu'il y a quelques années. C'est dans cette optique que la pratique du « repowering », qui consiste à remplacer les éoliennes des anciens parcs par des modèles plus récents et plus performants, se développe. On imagine alors que le parc éolien actuel sera au fur et à mesure remplacé pour atteindre une puissance moyenne de 3MW par éolienne. De leur côté, les nouveaux parcs seront directement construits avec des éoliennes de 3MW.

¹ On considère qu'il faut laisser une ellipse de 40ha sans installation autour d'une éolienne

2.2.3 Le solaire photovoltaïque

2.2.3.1 Panneaux photovoltaïques sur toiture

Le gisement photovoltaïque lié aux toitures a été déterminé de 3 façons :

- Via les EPE (complété par les PCAET pour les informations manquantes)
- En utilisant les données exportées du logiciel QGIS, puis découpées par EPCI
- Via le site France Potentiel Solaire

L'objectif de réaliser les trois méthodes était d'identifier d'éventuelles différences dans les résultats. Bien qu'aucune différence significative n'ait été trouvée, les valeurs les plus précises proviennent du site France Potentiel Solaire [4], ce sont donc ces dernières qui ont été retenue. Ces valeurs sont issues d'un véritable cadastre solaire, elles prennent en compte les obstacles limitant l'installation des panneaux sur les toits d'où la précision plus importante des résultats.

Dans l'Oise, le gisement solaire photovoltaïque sur toitures s'élève à 3188 GWh/an

De plus, au sein du gisement, on distingue deux sous-gisements :

- Le gisement « petites toitures » (puissance installable inférieure à 36kWc) qui représente 2119 GWh/an
- Le gisement « grandes toitures » (puissance installable supérieure à 36kWc) qui représente 1069 GWh/an

Enfin, il est important de noter que cette estimation du gisement ne prend pas en compte les zones ABF² qui compliquent théoriquement l'installation des panneaux mais restent flexibles et sont susceptibles d'évoluer.

2.2.3.2 Panneaux photovoltaïques sur ombrière

Les ombrières sont des installations photovoltaïques situées, en grande partie, au-dessus des parkings. Le potentiel est donc directement lié à la surface de parking existante. Pour cette catégorie, le gisement est directement issu du site France Potentiel Solaire [4], sans comparaison avec d'autres résultats.

Dans l'Oise, le gisement solaire photovoltaïque sur ombrières s'élève à 410 GWh/an

Ce gisement devrait être fortement exploité étant donné que la loi APER a imposé l'installation de panneaux photovoltaïques sur les parkings d'une superficie de plus de 1500m², avec une couverture obligatoire d'au moins 50% de la superficie totale du parking. D'ailleurs, les parkings de plus de 1500m² représentent une grande partie du gisement avec 347 GWh/an (soit 85% du total).

2.2.3.3 L'agrivoltaïsme et les centrales solaires au sol

Le cas de l'agrivoltaïsme est traité de manière bien plus approfondie dans une partie entière qui lui est consacrée (voir **partie 3**). Pour cette filière, nous ne parlons pas de « gisement » à proprement parlé mais simplement d'une estimation du potentiel dont le calcul et les hypothèses sont détaillés en **partie 3.3**.

Dans l'Oise, le potentiel agrivoltaïque est d'environ 6000 GWh/an.

Le choix de ne pas parler de gisement est motivé par la valeur déraisonnable de ce dernier. Pour donner un autre d'idée, en considérant la réglementation actuelle (**voir 3.1.1**) et en couvrant la majeure partie

² Les zones ABF (Architectes des Bâtiments de France) sont des périmètres de protection autour des monuments historiques / sites patrimoniaux, où les projets de construction doivent obtenir l'avis des Architectes des Bâtiments de France dans le but de préserver le patrimoine architectural et paysager

de la Surface Agricole Utile (SAU) par des installations agrivoltaïques on obtient un gisement brut de 238 000 GWh/an... ce qui représente la moitié de la consommation électrique de la France.

D'une façon similaire, aucun gisement n'a été calculé pour les projets de centrale solaire qui n'ont pas de facteur limitant (comme la surface de toitures ou des parkings) et donc pour lesquelles la notion de gisement n'a pas vraiment de sens.

2.2.3.4 Conclusion sur le solaire photovoltaïque

Dans l'Oise, le gisement solaire photovoltaïque calculable est estimé à 3600 GWh/an sur toitures et ombrières, auquel peut s'ajouter un réservoir non-défini de lié à l'agrivoltaïsme et aux centrales solaires au sol.

Actuellement, l'ensemble des installations solaires du département produit 60 GWh/an. Ce gisement est donc très peu exploité, probablement en raison de l'ensoleillement jugé trop faible sur le territoire. Cependant, n'importe quelle région peut tirer bénéfice de l'énergie solaire, comme le démontre l'importance du photovoltaïque en Belgique et en Allemagne. De plus, étant l'une des énergies renouvelables privilégiées dans les scénarios de RTE, une exploitation relativement importante de ce gisement est également envisagée dans nos scénarios.

La décomposition détaillée par EPCI pour les différents gisements photovoltaïques est donnée en **Annexe 3**.

2.2.4 Les bioénergies

Pour RTE, les bioénergies correspondent aux « installations produisant de l'électricité à partir de biomasse solide, de biogaz ou encore de déchets ». Ce sont donc des centrales thermiques utilisant des combustibles renouvelables ou alors valorisant les déchets. La majorité de ces installations servent à produire de l'énergie thermique (de la chaleur), mais il en existe une partie consacrée à la production électrique ou qui sont en cogénération³ ; c'est de cette partie dont il est question ici.

On considère trois types d'installations de bioénergies : les méthaniseurs, les centres d'incinération de déchet, et les centrales biomasse. Il faut savoir que les bioénergies représentent seulement 2% du mix énergétique total (voir **2.3.3**), par conséquent il n'est pas utile d'avoir un regard complet sur un potentiel que l'on est déjà assuré de ne pas déployer de manière importante. De plus, dans les scénarios RTE, le seul type d'installation de bioénergie qui continue de se développer est la méthanisation en cogénération (voir **2.4.3**), c'est donc le seul gisement que nous prenons en compte.

Le gisement de méthanisation en cogénération, déjà calculé par le SE60 est de 1000 GWh/an ⁴

Enfin, pour connaître l'état initial, un recensement des installations de bioénergies dans l'Oise a été réalisé, via le registre national des installations de production d'électricité (daté du 30/04/2024) produit par RTE :

- Méthanisation : 7 installations pour une production annuelle de 35 GWh
- Unité d'incinération de déchet : 1 installation pour une production annuelle de 53 GWh
- Biomasse : 1 installation pour une production annuelle de 21 GWh

³ La cogénération est un processus de production simultanée de chaleur (souvent l'objectif principal de l'installation) et d'électricité.

⁴ Le gisement méthanisation est de 3000 GWh de biométhane injecté, ce qui représente 1000 GWh de production électrique en cogénération

2.2.5 Les autres énergies renouvelables

L'éolien en mer et les énergies marines nécessitant un accès à la mer, elles n'ont donc évidemment aucun potentiel de développement dans l'Oise.

2.3 Les scénarios à l'échelle de l'Oise

Une fois les gisements d'EnR calculés, il reste à déterminer les différents mix de productions électriques en 2030 et en 2050, à l'échelle de l'Oise.

2.3.1 Première déclinaison brute

En partant des mix électriques déterminés par RTE au niveau national, l'objectif est d'obtenir la part de cette production associée à l'Oise. Pour ce faire, nous utilisons un ratio basé sur la consommation électrique, de manière à ce que le mix électrique du département soit en mesure de répondre à sa consommation. On note x le ratio entre la consommation électrique de l'Oise (de 5 TWh en 2020 [5]) et la consommation électrique de la France (de 449 TWh en 2020 [6]). Ensuite, pour chacun des scénarios, on multiplie la production totale pour obtenir la production au niveau du département. En gardant les mêmes parts pour chacune des énergies, on obtient finalement le détail des 6 mix électriques à l'échelle de l'Oise.

Prenons l'exemple du scénario M0, en 2050 le mix proposé est le suivant :

Sources	Thermique	Nucléaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Photovoltaïque	Énergies marines	Hydraulique	Bioénergies	Total
TWh	1	0	149	224	255	9	63	12	713
%	0	0	21	31	36	1	9	2	100

Tableau 2-a : Mix électrique du scénario RTE M0 à l'échelle nationale

En multipliant les 713 TWh par le coefficient x , on trouve 7,934 TWh soit 7934 GWh. En gardant la même part pour chacune des énergies on obtient :

Sources	Thermique	Nucléaire	Éolien terrestre	Éolien en mer	Photovoltaïque	Énergies marines	Hydraulique	Bioénergies	Total
GWh	6	0	1659	2494	2840	100	702	134	7934
%	0	0	21	31	36	1	9	2	100

Tableau 2-b : Mix électrique du scénario RTE M0 à l'échelle de l'Oise

En suivant le même raisonnement pour l'ensemble des scénarios, on obtient les différents mix électriques de l'Oise en 2030 et en 2050 selon les scénarios RTE (voir **Annexe 4**).

2.3.2 Des adaptations au contexte de l'Oise

Ce premier tableau (*Tableau 2-b*) est une base mais pour assurer une certaine pertinence il est primordial d'adapter les résultats précédemment obtenus au contexte géographique et historique (en termes énergétique) de l'Oise.

2.3.2.1 Nouvelle répartition entre éolien et solaire

Le département n'est pas réputé pour avoir un ensoleillement très important sur l'année (en comparaison avec les territoires plus au sud). En revanche, il bénéficie d'un réservoir de vents considérable qui est d'ailleurs largement plus exploité (voir **2.2.2**) que le gisement solaire comme en témoigne les productions respectives de 1050 GWh/an et 60 GWh/an. Enfin, sans adaptation, le scénario le plus ambitieux en termes d'EnR nécessite de multiplier par 1,5 la production éolienne d'ici 2050, tandis que la production solaire devra l'être par 47... d'où la nécessité de s'adapter au contexte local.

L'idée est donc de sommer la production éolienne et solaire, puis de redistribuer le total en prenant en compte les deux critères suivants :

- Le rapport entre le gisement et la production actuelle, ce qui donne une indication du développement des deux énergies en comparaison de leur potentiel maximum.
- L'évolution (en %) de la puissance installée (en MW) des deux parcs sur les 5 dernières années

Pour limiter l'influence du critère "évolution" (qui peut avoir des valeurs extrêmes), on utilise une pondération logarithmique. Le rapport entre le gisement et la production a été normalisé entre 0 et 1 pour obtenir un indice du développement actuel des parcs. En multipliant ces deux coefficients, on obtient 1,7 pour l'éolien et 1,04 pour le solaire, ce qui donne une répartition de 62 % en faveur de l'énergie éolienne et de 38 % pour l'énergie solaire. À titre de comparaison, dans les scénarios RTE le part de l'éolien varient entre 30 et 50%.

2.3.2.2 Le cas des productions d'EnR non-locale

Comme mentionnée dans la **partie 2.2.5**, les énergies marines et l'éolien en mer ne peuvent pas faire l'objet de projet local. On fait alors l'hypothèse que ces deux sources d'énergies seront installées ailleurs sur le territoire national, en l'occurrence proche des littoraux, et qu'une partie de leur production servira à alimenter l'Oise. Nous appliquons le même raisonnement pour les sources de productions centralisés c'est-à-dire le nucléaire et l'hydraulique.

2.3.3 Les mix électriques de l'Oise en 2050 selon les scénarios RTE

Avec ces dernières prises en compte, on obtient les différents mix de production électrique de l'Oise à l'horizon 2050, inspirés des scénarios proposés par RTE (*voir Tableau 3-a*)

Scénarios	M0		M1		M23		N1		N2		N03	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Thermique	6	0	6	0	6	0	6	0	6	0	0	0
Nucléaire	0	0	1013	13	1013	13	2027	27	2806	38	3775	51
Éolien en mer	2494	31	1804	23	2394	31	1782	24	1437	19	869	12
Énergies marines	100	1	33	0	97	1	0	0	0	0	0	0
Hydraulique	702	9	702	9	702	9	702	9	702	9	702	9
Sous-total importé	3302	42	3558	45	4212	55	4516	60	4950	66	5345	72
Éolien terrestre	2789	35	2582	33	2057	27	1802	24	1478	20	1194	16
Photovoltaïque	1710	22	1583	20	1261	16	1104	15	906	12	732	10
Bioénergies	134	2	134	2	134	2	134	2	134	2	134	2
Sous-total local	4633	58	4298	55	3452	45	3040	40	2517	34	2060	28
Total	7934		7856		7664		7556		7467		7405	

Tableau 3-a : Les mix électriques de l'Oise en 2050, inspirés des scénarios RTE

Les énergies « importées » représentent les énergies produites en France, dans d'autres départements que l'Oise, et qui sont ensuite acheminées vers l'Oise grâce au réseau électrique. A l'inverse, les énergies « locales » représentent toutes les énergies produites directement sur le territoire départemental.

On remarque que tous les scénarios ne sont pas égaux en termes de production totale d'énergie. Plus précisément, plus un scénario inclut d'EnR, plus sa production totale sera élevée. Sans rentrer dans les détails, cela s'explique par la nécessité croissante de systèmes de stockage d'énergie pour augmenter la flexibilité du réseau à mesure que le mix énergétique s'appuie davantage sur les EnR. Hors, ces systèmes de stockage présentent des pertes d'énergies, lors de la conversion de l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie (mécanique, thermique, chimique, etc.). Par conséquent, pour une même consommation finale, la production doit être plus importante.

Enfin, pour l'étape importante que représente l'année 2030, les seules variations entre les scénarios sont au niveau de la production thermique et nucléaire (que l'on n'étudie pas) tandis que chacune des EnR connaît le même développement.

EnR	GWh
Éolien en mer	200
Énergies marines	0
Hydraulique	702
Éolien terrestre	759
Photovoltaïque	465
Bioénergies	134

Tableau 3-b : Mix EnR en 2030

2.4 Les projections en nombre d'installations : le dimensionnement

L'objectif de cette partie est de convertir les valeurs obtenues précédemment en nombre d'installations afin de fournir des indicateurs plus faciles à suivre et de vérifier la faisabilité des propositions. Le cas particulier du photovoltaïque, avec ses multiples combinaisons possibles (ombrières, grandes toitures, petites toitures, agrivoltaïsme, etc.) pour un même résultat, a nécessité un travail approfondi pour obtenir une répartition cohérente et réaliste.

2.4.1 L'éolien

Actuellement, la puissance moyenne d'une éolienne dans l'Oise est de 2,3 MW [3]. Ce chiffre devrait évoluer compte tenu des avancées technologiques et de la pratique du repowering (voir 2.2.2). Nous avons alors considéré qu'une éolienne moyenne représente 3 MW de puissance électrique (qui est le chiffre utilisé lors de l'estimation du gisement).

On obtient alors :

Scénarios	2030	M0	M1	M23	N1	N2	N03
Objectifs (GWh)	759	2789	2582	2057	1802	1478	1194
Nombre d'éoliennes	127	465	431	343	301	247	200

Tableau 4 : Objectifs de l'Oise pour les nombres d'éoliennes en fonction des scénarios

La répartition de ces installations par EPCI est faite en fonction de la part du gisement (par exemple avec 9% du gisement éolien, on considère que la CA du Beauvaisis devrait avoir 9% des installations éoliennes du département).

2.4.2 Le solaire photovoltaïque

Le solaire photovoltaïque nécessite une attention particulière. En effet, de nombreuses options de répartition de la production sont possibles compte tenu de la diversité des installations : ombrières, grandes toitures, petites toitures, agrivoltaïsme et centrales au sol. Toutefois, cette distribution est encadrée par RTE qui propose déjà une répartition entre « photovoltaïque au sol » et « photovoltaïque en toiture » dans chacun de ses scénarios.

Plus précisément RTE propose trois types de répartition :

- « Diffuse » : 50% en toitures / 50% au sol (scénario M1)
- « Classique » 40% en toitures / 60% au sol (scénarios M0, N2, N03)
- « Centralisée » 33% en toitures / 67% au sol (scénario M23, N1)

Dans notre cas, par manque d'informations précises de RTE, on considère que le « photovoltaïque au sol » comprend l'agrivoltaïsme, les centrales au sol et les ombrières. Il faut ensuite déterminer la contribution des différentes filières photovoltaïques permettant à la fois de respecter les parts considérées par RTE (ci-dessus) et d'atteindre nos objectifs de production.

Pour cela nous sommes partis du principe que :

- Les installations sur grandes toitures se développeront toujours plus ou autant que celles sur petites toitures du fait de leur meilleure rentabilité (en % de gisement)
- Le gisement « ombrières » sera plus largement exploité que les autres en raison des obligations issues de la loi APER
- L'agrivoltaïsme se développera de manière trois fois plus importante que les centrales au sol⁵

Voici les objectifs définis selon les scénarios pour le solaire photovoltaïque :

Scénarios	2030	M0	M1	M23	N1	N2	N03
Objectifs (GWh)	465	1710	1583	1261	1104	906	732
Répartition de la production photovoltaïque							
	Prod. (GWh) Contrib. (%)	Prod. (GWh) Contrib. (%)	Prod. (GWh) Contrib. (%)	Prod. (GWh) Contrib. (%)	Prod. (GWh) Contrib. (%)	Prod. (GWh) Contrib. (%)	Prod. (GWh) Contrib. (%)
PV en toitures	Grandes toitures	43 9	214 13	267 17	160 13	160 15	134 15
	Petites toitures	85 18	424 25	530 33	265 21	212 19	212 23
PV au sol	Ombrières	176 38	307 18	307 19	307 24	245 22	225 25
	Centrale au sol	41 9	191 11	120 8	132 10	122 11	84 9
	Agrivoltaïsme	122 26	574 34	359 23	397 31	365 33	251 28
Exploitation des gisements (%)							
PV en toitures	Grandes toitures	4	20	25	15	15	10
	Petites toitures	4	20	25	12,5	10	8
PV au sol	Ombrières	43	75	75	75	60	55
	Centrale au sol	/	/	/	/	/	/
	Agrivoltaïsme	/	/	/	/	/	/

Tableau 5 : Objectifs de l'Oise pour le solaire photovoltaïque en fonction des scénarios

Enfin, afin de chiffrer nos scénarios, nous avons accepté l'approximation qui consiste à associer X % du gisements à X % des sites d'installations⁶. A titre d'exemple, ce tableau indique que dans le scénario M0, 75% du potentiel des ombrières sera exploité, ce qui correspond à 7,5 parkings sur 10. De même, 20% du potentiel des grandes toitures et 20% du potentiel des petites toitures équivalent 1 toiture sur 5 équipée de panneaux photovoltaïques.

La répartition au travers des EPCI suit la même logique que pour l'éolien, c'est-à-dire qu'elle est déterminée en fonction des parts des gisements ou du potentiel propre à chaque EPCI.

2.4.3 Les bioénergies : méthanisation en cogénération

En parcourant le rapport RTE [7] qui détaille l'ensemble des hypothèses et considérations liées aux scénarios, on apprend dans la partie bioénergies que : « seul un développement d'unités de cogénération au biométhane est considéré, notamment pour des installations éloignées du réseau de gaz ». C'est pourquoi, le dimensionnement concerne uniquement les unités de méthanisation en cogénération.

L'objectif final, qui est fixe selon les scénarios et prévu dès 2030 est de 134 GWh/an. En soustrayant, la production de la centrale d'incinération des déchets et celle de l'unique centrale biomasse du département, on obtient 62 GWh/an à la charge des méthaniseurs.

En 2023, l'ensemble des 7 unités de méthanisation en cogénération ont produit un total de 35 GWh d'énergie électrique. Nous avons donc considéré qu'en moyenne une unité assurait une production de 5 GWh/an. De ce fait, pour répondre à notre objectif, il est nécessaire de mettre en place un total de

⁵ Sur du foncier agricole, l'installation de centrales solaires au sol entraîne une modification du zonage dans le Plan Local d'Urbanisme (PLU). Ce foncier « artificialisé » risque d'être décompté du quota autorisé par la Zéro Artificialisation Nette (ZAN). Cette contrainte réglementaire risque de limiter le développement des centrales, au profit de l'agrivoltaïsme.

⁶ Cette approximation revient à dire que l'on ne privilégie ni les sites d'installation les plus vastes en termes de surface (qui possèdent techniquement la plus grande part des gisements), ni les plus petits. Elle est donc valable en moyenne et sur un grand nombre de valeurs, ce qui est notre cas.

13 unités de méthanisation, soit 6 nouvelles installations. Ces nouvelles installations ont été placées en croisant les cartes du gisement de méthanisation dans l'Oise et celle du réseau de gaz. Les 3 EPCI avec le plus fort potentiel pour la méthanisation et n'étant pas ou très peu raccordé au réseau, ont donc été sélectionnés. Finalement, en plus des 7 installations déjà existantes, on ajoute 2 installations pour la CC de la Picardie Verte, 2 installations pour la CC de l'Oise Picarde, et 2 installation pour la CC du Vexin-Thelle.

2.5 Simulation des scénarios via l'outil Prosper

2.5.1 Présentation de l'outil Prosper

Prosper Actions, généralement simplifié en Prosper, est un logiciel collaboratif développé par SIEL-Territoire d'énergie Loire en partenariat avec le bureau d'études Energies Demain. Cet outil de planification territoriale permet de simuler des scénarios de transition énergétique en fournissant par la suite une analyse multicritères (estimation des coûts, des émissions de GES, de la création d'emplois, etc.) à l'utilisateur. De ce fait, il permet d'aiguiller les collectivités dans leur gestion de leurs politiques notamment sur la question du PCAET.

Les simulations sont effectuées en mettant en œuvre des actions sélectionnées parmi une banque de plus de 200 options, couvrant divers domaines tels que le logement, les énergies renouvelables, la mobilité ou encore la séquestration de carbone. Chacune de ces actions est définie selon trois paramètres :

- L'unité de stock : c'est l'état initial (datant de 2010...) enregistré sur Prosper
- L'unité de l'action : c'est l'effet qu'a notre action (ex : 1 éolienne = +2,5 MW pour le parc éolien)
- La clé de répartition : c'est le critère utilisé pour répartir les valeurs entre les différentes communes et EPCI

Pour ce dernier paramètre, il faut savoir que les actions peuvent être mises en place à une maille plus ou moins fine, allant du département à la commune. On peut donc décider de placer une éolienne dans une commune spécifique de l'Oise, ou bien à l'échelle du département entier. Dans ce dernier cas, le logiciel répartit alors de manière fictive l'éolienne à travers les EPCI puis les communes, en se basant sur la clé de répartition.

Exemple :

Pour l'action « Eolienne – Grande éolienne terrestre », on a les paramètres suivants :

Action jamais validée Unité du stock : MW éolien existants (toute tailles, en 2010) Unité de l'action : grandes éoliennes (2.5MW) Clé de répartition des valeurs : selon les surfaces territoriales des zones favorables à l'éolien ✓ Le paramétrage a été vérifié et aucune erreur n'a été détectée, l'action peut être validée.

Figure 4-a : Les différents paramètres des actions

La saisie des valeurs se fait grâce à l'interface ci-dessous. On peut alors entrer des valeurs à l'échelle de l'Oise, des EPCI ou des communes, mais aussi sur différentes périodes allant de 2010 à 2050. A titre d'exemple, si l'on saisit 50 installations en 2020 au niveau départemental, elles se répartiront automatiquement comme mentionné précédemment. Ces 50 installations impliqueront une augmentation de 125 MW ($50 \times 2,5$) du parc éolien dès l'année 2020.

Localisation	Stock	2010	2011	2012	...	2019	2020	2021 à 2025	2026 à 2030	2031 à 2040	2041 à 2050
Oise	162	0	0	0	...	0	50	0	0	0	0
CA Creil Sud Oise	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
Cramoisy	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
Creil	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
Maysel	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
Montataire	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
...					...						
Thiverny	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
Villers-Saint-Paul	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
CA de la Région de Compiègne et de la Basse Automne	-	0	0	0	...	0	0.066	0	0	0	0
CA du Beauvaisis	28	0	0	0	...	0	4.237	0	0	0	0
CC Senlis Sud Oise	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
CC Thelloise	-	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0

Figure 4-b : Interface d'utilisation et exemple de répartition des valeurs

2.5.2 L'utilisation de Prosper dans l'élaboration des scénarios

Dans le cadre de la simulation des scénarios, la totalité des actions utilisées se trouve dans le domaine « Energies renouvelables ». Dans notre cas, cela comprend une action pour l'éolien, une action pour l'implantation d'unités de méthanisation à production électrique (pour simuler la cogénération sans tenir compte de la production de chaleur), et trois actions pour le solaire photovoltaïque : installations sur petites toitures, sur grandes toitures, et implantation de centrales au sol (simulant les ombrières, l'agrivoltaïsme et les véritables centrales au sol).

Avant de saisir les valeurs, il a fallu procéder à une « mise à jour » de l'état initial, les valeurs n'étant plus d'actualité. Ainsi, pour les trois énergies considérées, j'ai actualisé les valeurs en ajoutant la différence entre la production actuelle et celle déjà sur le logiciel. Cette différence de production a été artificiellement attribuée à l'année 2020. Cela n'affecte pas notre simulation, l'important étant de connaître notre point de départ (en 2024) et nos objectifs pour 2030 et 2050. Aussi, pour le photovoltaïque, l'ensemble de la production actuelle a été intégré dans l'action « centrale au sol ». Bien entendu, les valeurs ont été saisies de manière à s'approcher au plus proche de la réalité, c'est-à-dire en attribuant au mieux la production à chaque communauté de communes.

L'étape de saisie des valeurs dans le logiciel est évidemment obligatoire pour simuler les scénarios. Toutefois, il est important de préciser que les valeurs saisies ont pour objectif de donner des indications en termes de nombres d'installations mais ne servent en aucun cas de référence précise. En raison des faibles puissances considérées par le logiciel (notamment pour l'éolien), il est parfois nécessaire de saisir des valeurs majorées par rapport à la réalité. Pour retrouver les valeurs « réelles » il suffit d'appliquer un coefficient multiplicateur.

Les valeurs ont été saisies par pas de temps (2026-2030, 2030-2040, 2040-2050) et par EPCI, en suivant les règles suivantes :

- Pour la période 2026-2030 : saisie de valeurs permettant d'atteindre les objectifs mentionnés dans le *Tableau 3-b* (voir **partie 2.3.3**)
- Pour les périodes 2030-2040 et 2040-2050 : saisie des valeurs permettant d'atteindre les objectifs mentionnés dans le *Tableau 3-a*, avec une croissance quasi-linéaire des installations (45 % entre 2030-2040 et 55% entre 2040-2050)

- Pour les EPCI : répartition selon la part des gisements comme expliqué dans la **partie 2.4**, avec une prise en compte de l'état initial pour l'éolien⁷

Exemple pour l'éolien (prise en compte de l'état initial)

Dans le scénario M0, l'Oise doit atteindre une production éolienne de 759 GWh en 2030 et de 2789 GWh en 2050, ce qui représente respectivement 152 et 558 unités sur le logiciel Prosper. Une fois la mise à jour des valeurs effectuées, le département atteint 210 unités, il remplit alors déjà son objectif pour 2030, aucune valeur ne sera saisie sur la période 2026-2030. Prenons ensuite un territoire donné, par exemple la CC de l'Oise Picarde qui représente 23,5% du gisement avec une production actuelle équivalente à 69 unités. L'objectif de cette collectivité en 2050 est donc de 131 unités ($0,235 \times 558$), en tenant compte de l'état initial, le CC doit encore installer 62 unités. Enfin, ces unités se répartissent sur les périodes comme énoncé ci-dessus, soit 28 pour 2030-2040 (45%) et 34 pour 2040-2050 (55%).

Exemple pour le photovoltaïque sur grande toiture (sans prise en compte de l'état initial)

Toujours dans le scénario M0, l'Oise doit atteindre une production sur grandes toitures de 43 GWh en 2030 et de 214 GWh en 2050, ce qui représente respectivement 329 et 1644 unités sur Prosper. On reprend la CC de l'Oise Picarde qui possède 3% du gisement « grandes toitures ». Pour 2030, son objectif est donc de 10 unités ($0,03 \times 329$). Pour 2050, l'objectif du département est de 1644 unités auxquelles on soustrait celles de 2030, soit 1315 unités. Pour la CC de l'Oise Picarde cela représente 39 unités ($0,03 \times 1315$) qui se répartissent en 17 unités pour 2030-2040 (45%) et 21 unités en 2040-2050 (55%).

Enfin, pour les bioénergies, la saisie se fait « à la main » en respectant l'idée de la **partie 2.4.3**.

2.6 Résultat et utilisation par les EPCI

Une fois l'ensemble des valeurs saisie, on obtient des graphiques en aires empilées permettant de voir l'évolution de la production énergétique des différentes filières renouvelables (attention, sur ces graphiques électricité et chaleur sont combinées). On remarque un pic en 2020 induit par notre méthode de mise-à-jour des valeurs.

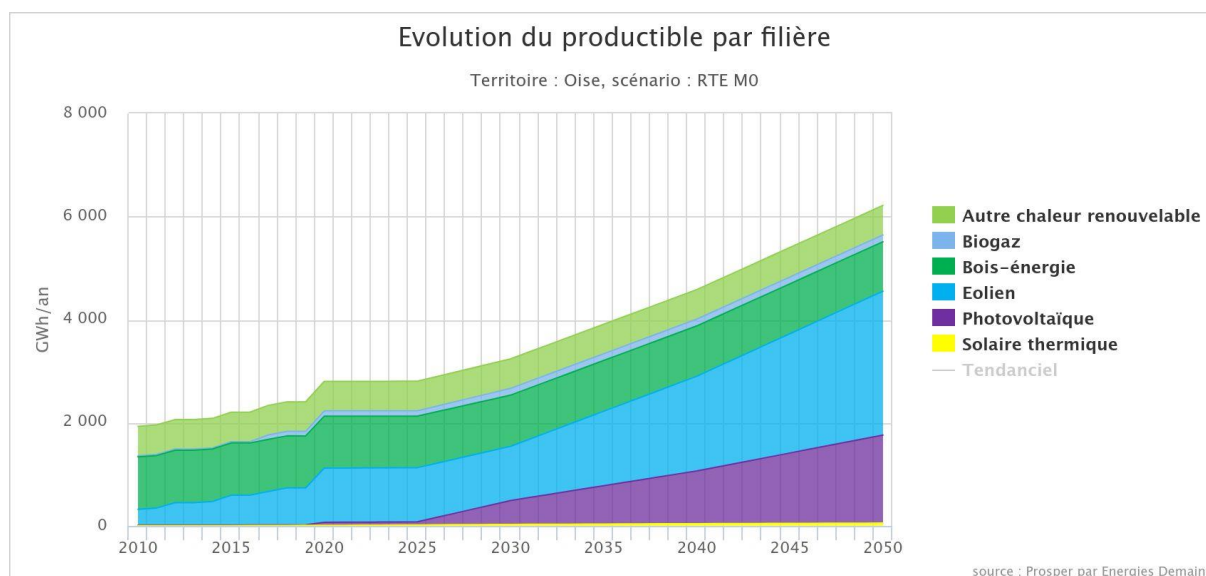


Figure 5 : Simulation de l'évolution du mix électrique (scénario M0) (©Propser)

⁷ La production éolienne de l'Oise étant déjà significative, ne pas tenir compte de l'état initial fausserait les résultats en perturbant les pourcentages de répartition calculés. Les EPCI ayant déjà une certaine production se retrouveraient alors avec un surplus par rapport à ce qui avait été initialement prévu.

Les EPCI ont accès à l'outil Prosper, qui leur permet d'exporter les différents scénarios et de récupérer directement les objectifs fixés pour leur territoire. Ainsi, ils peuvent facilement comparer ces objectifs avec ceux de leur PCAET déjà enregistrés dans le logiciel. Cela permettra à chaque territoire de mieux se situer en fonction de la part qu'ils ambitionnent de donner aux EnR et d'éclairer les futurs objectifs qui seront décidés lors de la révision des PCAET à la lumière d'une étude réfléchie à l'échelle départementale et qui s'appuie sur des données chiffrées.

3. L'agrivoltaïsme dans l'Oise : potentiel et objectifs

3.1 Introduction à l'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme est une pratique relativement nouvelle qui continue de prendre de l'importance ces dernières années. Elle se définit comme la combinaison d'une production électrique via des panneaux solaires et d'une production agricole ou d'un élevage sur un même espace. L'idée est donc de favoriser la transition énergétique en augmentant la part de la production d'EnR (photovoltaïque en l'occurrence) tandis que les cultures bénéficient de l'ombrage partielle ou d'autres effets de protection contre les aléas climatiques. D'ailleurs, dans le cadre d'un projet agrivoltaïque, l'agriculture doit rester l'activité principale de la parcelle, c'est à ça que l'on peut différencier un projet agrivoltaïque d'un projet photovoltaïque sur foncier agricole qui a pour objectif premier la production d'énergie.

3.1.1 Le décret n° 2024-318

La popularité croissante de l'agrivoltaïsme a poussé l'Etat à encadrer la pratique avec un décret sorti le 8 avril 2024, qui fait suite à la loi APER, et qui pose un premier cadre. On retient notamment de ce décret que pour être qualifié « d'agrivoltaïque » une installation doit nécessairement offrir l'un des bénéfices suivant à la parcelle :

- Une amélioration du potentiel et de l'impact agronomique
- Une amélioration du bien-être animal
- Permettre une adaptation au changement climatique
- Une protection contre les aléas climatiques

Le décret donne aussi des valeurs seuils, à ne pas dépasser donc, avec pour objectifs annoncés de protéger les cultures de projets trop fortement tournés vers la production électrique. Ces valeurs concernent le taux de couverture⁸ maximum fixé à 40% pour les technologies dites « non-éprouvée »⁹, et la perte de rendement maximale, par rapport à une parcelle témoin, fixée à 10%. La parcelle témoin est une zone de même culture et de mêmes conditions pédologiques généralement située non loin de l'installation et qui sert de référence pour étudier les effets des panneaux sur la culture, notamment d'un point de vue quantitatif avec le rendement, mais aussi qualitatif en termes de nutriments. Le décret indique également que si l'exploitation de la parcelle est mécanisée, le développeur est dans l'obligation de prendre en compte cette mécanisation dans son projet. Enfin, il est mentionné que les projets doivent être réversibles ce qui signifie qu'à la fin de la vie de l'installation, le développeur doit être capable de démanteler les équipements et que le terrain doit revenir à son état d'origine.

⁸ Le taux de couverture d'une installation agrivoltaïque est défini comme étant le rapport entre la surface maximale des panneaux projetée au sol et la surface de la parcelle concernée par le projet.

⁹ Les technologies éprouvées sont les technologies dont on a prouvé le fonctionnement et la qualité. Pour le moment la liste des technologies entrant dans cette catégorie n'est pas encore parue, elle est en cours d'élaboration par l'ADEME et devrait sortir prochainement.

Concernant le taux de couverture maximal inscrit dans le décret, il faut savoir qu'il a été principalement négocié par le secteur de l'énergie et que, de ce fait, sa valeur est sans doute trop importante pour réellement protéger les cultures. Selon Christian Dupraz, chercheur pour l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), il est préférable de ne pas dépasser un taux de couverture de 20%, au-dessus duquel il paraît compliqué de maintenir un rendement agricole normal [8].

Enfin, même si ce décret a le mérite d'éclaircir un peu le débat, il reste encore quelques zones d'ombres concernant les modalités de contrôle et de sanctions (un arrêté ministériel est prévu) ainsi que les critères d'évaluation pour une installation sur de l'élevage.

3.1.2 Déroulement d'un projet agrivoltaïque et descriptions des différents acteurs

Chaque projet énergétique suit un déroulement plus ou moins similaire et l'agrivoltaïsme ne fait pas exception à la règle. Les grandes étapes d'un projet agrivoltaïque, ainsi que les acteurs impliqués, sont définis dans la figure ci-dessous (Figure 6). On note qu'entre le début d'un projet et son inauguration il faut généralement compter entre 5 et 7 ans.

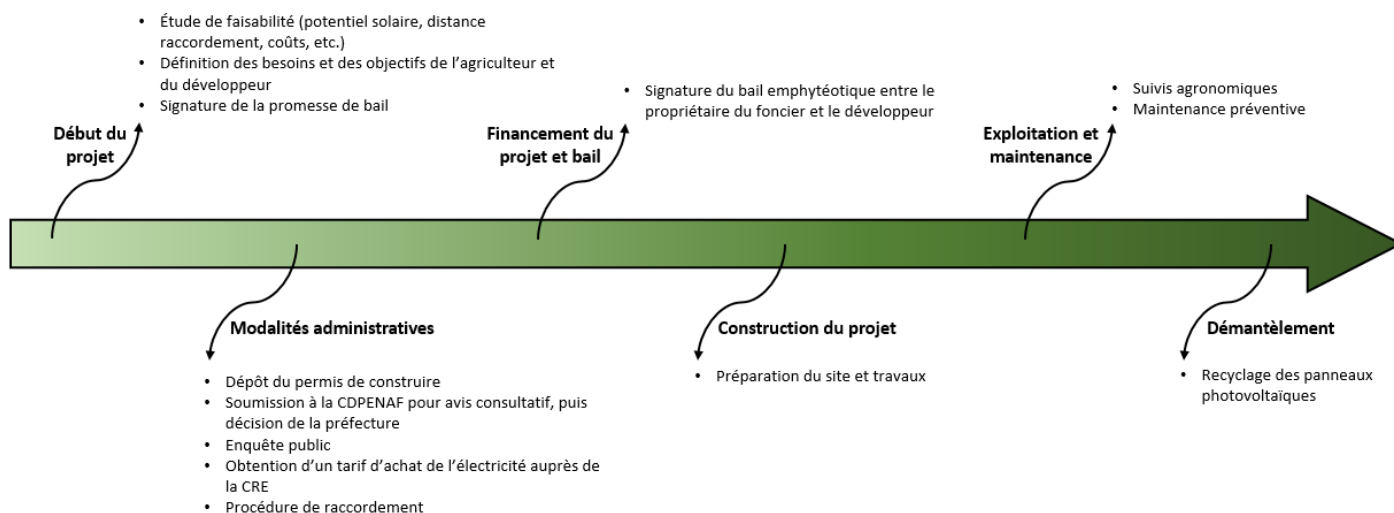


Figure 6 : Grandes étapes d'un projet agrivoltaïque (©Yannis Thoirain)

Les acteurs

Les deux principaux acteurs, qui interviennent le plus régulièrement tout au long du projet, sont bien entendu le développeur et l'agriculteur (en considérant qu'il est le propriétaire foncier). Le premier est le porteur du projet, il s'occupe notamment de sa conception et il vise à revendre l'énergie produite pour générer des revenus. Le second n'a pas forcément les compétences techniques pour être associé à l'ensemble des étapes, il est néanmoins nécessaire de l'impliquer activement et le plus tôt possible. Sa participation permet de s'assurer que le projet ne viendra pas empiéter sur ses pratiques agricoles. De son côté, en plus des potentiels bénéfices agronomiques liés à l'installation, l'agriculteur reçoit un loyer de la part du développeur pour l'utilisation de ses terres, ce qui constitue une source de revenu supplémentaire et stable.

Certains acteurs interviennent de manière plus ponctuelle, lors de phase administrative :

- **La CDPENAF (Commission Départementale de Préservation des Espaces Naturels, Agricoles et Forestiers)** : Grâce à ses compétences techniques, son rôle est de donner un avis sur les projets en évaluant leurs impacts potentiels sur l'espace agricole.

- **La Préfecture** : Elle délivre les permis de construire, et s'assure du respect du cadre législatif
- **Le CRE (Commission de Régulation de l'Energie)** : Elle intervient pour fixer les tarifs d'achat de l'électricité qui sera produite par l'installation agrivoltaïque.
- **La Commune/l'Intercommunalité** : Elle peut jouer un rôle majeur dans l'acceptation locale du projet, et facilite la concertation entre les différentes parties prenantes.

D'autres acteurs plus spécifiques peuvent intervenir selon les projets, comme par exemple des organismes de défense de la biodiversité, des associations agricoles, des conseillers juridiques, etc.

3.2 Les technologies de l'agrivoltaïsme

Il existe divers modèles de technologies agrivoltaïques qui dépendent de la culture, de la surface considérée, voir des besoins énergétiques spécifiques. Voici une liste non-exhaustive des principales technologies utilisées [9]

3.2.1 Présentation des principales technologies agrivoltaïques

Ombrières photovoltaïques

C'est la technologie agrivoltaïque la plus répandue. Il en existe de deux type : fixes ou mobiles. Elles offrent une protection contre la grêle et la pluie, mais aussi contre la chaleur lors des périodes de sécheresse. Les ombrières mobiles (également appelé « persiennes ») offrent aussi la possibilité d'être pilotée selon les besoins de l'exploitant (on note par exemple la capacité des panneaux de se mettre à la verticale pour venir réduire leur taux de couverture et laisser passer les rayons).

Attention toutefois à ce que ce pilotage ne soit pas uniquement au bénéfice de la production d'énergie. Enfin, on note que les persiennes possèdent un LCOE¹⁰ plus élevés par rapport aux autres systèmes agrivoltaïques.

Les ombrières sont l'une des technologies agrivoltaïques les plus répandues. Elles sont principalement utilisées pour les grandes cultures.

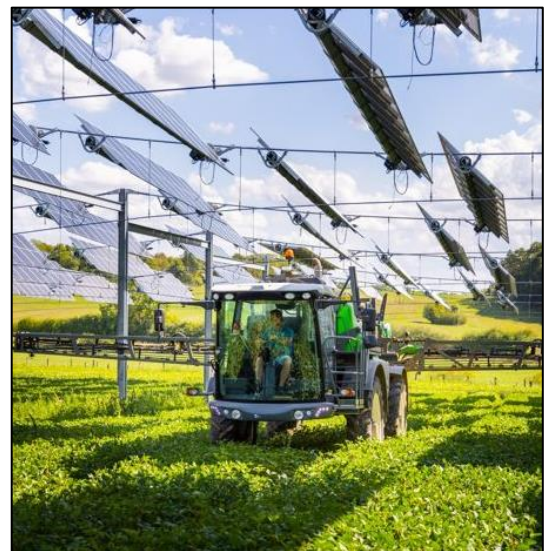


Figure 7 : Persiennes (@Julien Bru Studio)

¹⁰ Le Levelized Cost of Energy (LCOE) est une mesure économique indiquant le rapport entre le coût total moyen d'une installation de sa construction à son démantèlement en passant par son exploitation et la quantité totale d'énergie produite. Le LCOE permet de comparer les coûts de production des diverses installations énergétiques.

Panneaux photovoltaïques bifaciaux verticaux

Comme leur nom l'indique, ces panneaux sont placés à la verticale, ce qui implique un faible taux de couverture. Ils sont généralement orientés selon un axe Est-Ouest pour favoriser la production d'électricité lors des pics matinaux et en début de soirée. Enfin, leur disposition offre un effet « brise-vent » favorable à la croissance des plantes.

Cependant, cette installation n'est pas adaptée aux cultures de grande hauteur, telles que le maïs ou le tournesol. De plus, elle n'est pas souvent privilégiée par les développeurs de projets en raison de l'investissement relativement élevé requis, comparé à d'autres types d'installations.

Les panneaux bifaciaux ne sont pas encore très populaires, et bénéficient généralement aux prairies de fourrage



Figure 8 : Panneaux bifaciaux verticaux (©Next2Sun)

Serres photovoltaïques

Pour l'exploitant, le principal avantage de ce type de projet réside dans la prise en charge de la mise en place de la serre par le développeur qui va donc offrir un certains nombres de bénéfices agronomiques à la culture.

En revanche, les premiers retours d'expérience semblent indiquer que seul un faible nombre d'espèces végétales est capable d'assurer une production satisfaisante sous serre photovoltaïque. Pour l'horticulture le nombre de variétés adaptés à ce système paraît très limité. Les résultats sont plus contrastés en maraîchage avec quelques bonnes surprises (betterave, mâche, haricots) mais aussi des déceptions (poivron, aubergine, concombre)¹¹.



Figure 9 : Serre photovoltaïque (©Urbasolar)

¹¹ Ces résultats proviennent des premiers retours d'expériences récoltés par l'ADEME. Ils ne sont en aucun cas une preuve exacte que certaines cultures sont adaptées ou non à un développement sous une serre photovoltaïque.

Pâturage sous centrale photovoltaïque¹²

L'installation de panneaux solaires offre un abri aux animaux, notamment en été, ce qui améliore leur bien-être en les protégeant de la chaleur. De plus, le conflit d'usage des rayons du Soleil est grandement limité, car le cheptel n'a pas autant besoin d'ensoleillement que les cultures.

Toutefois, il n'est pas encore prouvé que les panneaux n'ont pas d'effets nuisibles sur le cycle de croissance de l'herbe, ce qui pourrait poser un problème pour le pâturage à l'avenir. On constate également une préférence pour les élevages ovins avec ce type d'installation, ce qui pourrait entraîner une concurrence avec d'autres d'éleveurs, les incitant potentiellement à changer leur type d'élevage.



Figure 10 : Pâturage sous central photovoltaïque (@Istock)

La tableau ci-dessous rassemble les principales technologies agrivoltaïques, leurs avantages et inconvénients, ainsi que le type d'exploitations auquel elles conviennent le mieux :

Systèmes Agrivoltaïques	Exploitations	Avantages	Inconvénients / Menaces
Ombrière	Arboriculture	Protection physique contre les aléas climatiques	
	Élevage	Possibilité d'orienter les panneaux plein sud Limite du conflit d'usage pour les rayons Amélioration du bien-être animal	Danger pour le cycle de l'herbe à long terme (ombrage) ? Attention à la concurrence économique avec les autres élevages
Persienne	Viticulture	Ombrage modulable selon les besoins de l'exploitant	LCOE élevé en comparaison aux autres systèmes Risque de pilotage uniquement dicté par le suivi solaire Dégradation des traitements phytosanitaires sur les panneaux (vignes)
	Arboriculture	Protection physique contre les aléas climatiques	
	Maraîchage	Optimisation de la production solaire possible via les trackers solaires	
	Grandes cultures		
Serre PV	Arboriculture	L'exploitant peut bénéficier de l'installation (serre) Protection physique contre les aléas climatiques	Risque d'ombrage trop important surtout avec des panneaux plein Sud Attention aux choix des espèces Pour l'horticulture, le nombre de variétés adaptées à ce système semble très limité
	Horticulture		
	Maraîchage		
PV bifaciaux verticaux	Prairie (fourrage et graminées)	Très faible couverture Orientation est-ouest pour répondre aux consommations matinales et crépusculaires	Pas adaptée aux cultures de hauteurs Investissement élevée par rapport aux autres systèmes
	Grandes cultures	Effet "brise-vent"	

Tableau 6 : Récapitulatif des principales technologies agrivoltaïques

3.2.2 Densité de puissances des différentes installations

Dans l'optique d'un calcul, il faut attribuer une densité de puissance à ces différentes installations. Cette densité correspond donc à la puissance (en MWc) que l'on peut installer sur un hectare de surface. Ici, deux possibilités :

- Soit l'installation est limitée par un taux de couverture, auquel cas, comme la densité de puissance dépend directement du taux de couverture, la densité maximale a été calculé pour un taux de 40% que l'on multiplie par le ratio¹³ adéquat pour simuler un taux de couverture moindre.

¹² Le pâturage sous centrale photovoltaïque ne doit pas être confondu avec l'éco-pâturage, qui consiste à utiliser des ovins pour entretenir un parc photovoltaïque. Dans le cas de l'éco-pâturage, il ne s'agit pas d'agrivoltaïsme puisque l'activité principale de la parcelle est énergétique, et non agricole.

¹³ Par exemple, pour simuler un taux de 20% on multiplie par un ratio de 20/40 soit ½.

- Soit l'installation n'est pas limitée par un taux de couverture, auquel cas, la densité de puissance est considérée comme fixe et calculée en fonction de recommandations d'agencements des panneaux (espacement inter-rangées, espacement avec la clôture, etc.) issues de la littérature ([9], [10]).

Pour chacun des cas, les calculs font ensuite intervenir l'angle entre le sol et les panneaux, la dimension des panneaux (2m x 1m) et la puissance de ces derniers. Dans notre cas, on considère que 5 m² de panneaux équivalent à une puissance installée de 1 kWc, qui est la production surfacique des panneaux actuellement.

		Taux de couverture (%)						
		35	30	25	20	15	10	5
Type d'installation	Densité max (MWc/ha) (40%)	Densité relative au taux de couverture (MWc/ha)						
Ombrières	0,96	0,84	0,72	0,6	0,48	0,36	0,24	0,12
Persiennes	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Type d'installation	Densité fixe (MWc/ha)							
PV bifaciaux	0,44							
Ombrières (élevage)	0,72							

Tableau 7 : Densité de puissance des installations agrivoltaïques

3.3 Estimation du potentiel et de l'ambition agrivoltaïque de l'Oise

3.3.1 Détermination des taux de couverture par culture

Avant d'estimer un potentiel, il est nécessaire de définir certaines hypothèses. L'approche retenue consiste à associer à chaque type de culture un taux de couverture permettant de respecter le cadre législatif imposant une baisse maximale de rendement de 10%.

Pour ce faire, la principale source utilisée est une méta-analyse parue dans la revue *Agronomy for Sustainable Development* de l'INRAE [11]. La méthode de cette méta-analyse repose sur un recensement des travaux¹⁴ examinant la relation entre l'ombrage et le rendement des cultures. Les auteurs réalisent ensuite un tri, hautement sélectif, éliminant les travaux n'offrant pas de données chiffrées, les doublons, les études trop spécifiques ou avec des conditions éloignées de celles rencontrées sur des cultures « ordinaires », etc. Après sélection, le nombre de travaux passe de 692 à 58. L'analyse permet ensuite d'obtenir une idée du comportement de neuf types de cultures lorsqu'elles sont soumises à l'ombrage.

On distingue alors 3 classes de susceptibilité basées sur le rapport entre rendement observé et ombrage :

- **Susceptibilité faible** : Les cultures résistent bien à l'ombrage et montrent même des bénéfices sous un ombrage faible (<20%), elles peuvent donc théoriquement offrir un rendement de 100% sous un taux de couverture allant jusqu'à 40%. Les baies, les fruits, légumes fruitées les fourrages appartiennent à cette classe.
- **Susceptibilité moyenne** : Les cultures semblent présenter une perte de rendement plus ou moins proportionnelle à la quantité d'ombrage. L'ombrage impliquant une perte de 10% du rendement oscille entre 10 et 25%. Les légumes à feuilles, les céréales et les tubercules (plantes-racines) appartiennent à cette classe

¹⁴ L'ensemble des travaux présent dans la base scientifique SCOPUS, auxquels s'ajoute des travaux externes à la base (à hauteur de 8%).

- **Susceptibilité forte** : Les cultures sont fortement sensibilité à l'ombrage, le rendement décroît plus rapidement que l'ombrage croît. Il est difficile d'imaginer un ombrage supérieur à 5% pour conserver un rendement de plus de 90%. Les légumineuses à grain et le maïs appartiennent à cette classe.

Afin de garantir le respect de la législation en vigueur et, par la même occasion, de protéger la production agricole, nous avons choisi d'être prudent. C'est pourquoi les taux de couverture retenus pour les calculs sont encore plus faibles que ceux permis par le travail précédemment évoqué :

- 20% pour la classe de susceptibilité faible
- 10% pour la classe de susceptibilité moyenne
- 0% pour la classe de susceptibilité forte

Enfin, en s'intéressant à la part des différentes exploitations dans l'Oise [12] (voir **Annexe 5**), on constate que le blé est la culture majoritaire (40%) suivi par l'orge (10,6%) et le colza (10,5%). Les betteraves industrielles (10%) ainsi que les surfaces en herbe dédiées au pâturage (8%) complètent le haut du classement. Quatre de ces cinq cultures peuvent être associées à une classe de susceptibilité. En revanche, aucune source chiffrée n'a permis de déterminer dans quelle catégorie le colza pouvait se situer. C'est également le cas pour de nombreuses autres espèces, mais celles-ci étant la 3^{ème} la plus cultivée du département, cela peut être considéré comme un vrai manque.

3.3.2 Les types d'exploitations sujettes à un projet agrivoltaïque

Les types d'exploitations sont déterminés en croisant les plus grandes exploitations de la SAU dans l'Oise avec les données disponibles sur leur susceptibilité à l'ombrage. Les types d'exploitations qui sont trop peu représentés ou pour lesquels aucune donnée sur la susceptibilité à l'ombrage n'est disponible ne sont pas inclus dans cette étude. Les exploitations retenues sont donc : les cultures céréalières (blé et orge), les prairies pour le fourrage, les surfaces en pâturage, les cultures industrielles (betteraves) et les cultures de pommes de terre.

De plus, en considérant la **partie 3.2**, voici les technologies agrivoltaïques que l'on associe à ces cultures :

- Persiennes : pour les cultures céréalières
- Ombrières fixes : pour les surfaces en pâturage, les cultures de betteraves et de pommes de terre
- Panneaux bifaciaux : pour les prairies destinées à la production de fourrage

Concernant le taux de couverture, il est de 10% (susceptibilité moyenne) pour les cultures céréalières, les betteraves et les pommes de terre, tandis que les prairies (panneaux bifaciaux) et les surfaces en pâturage (élevage) ne sont pas concernés par ce dernier.

3.3.3 Calcul du potentiel

Finalement, il reste un dernier paramètre à fixer avant de calculer le potentiel agrivoltaïque : la part des différentes surfaces agricoles allouées à une installation. Pour estimer ce potentiel de manière réaliste, cette part doit être suffisamment importante pour refléter l'envergure du potentiel mais elle ne doit pas non plus paraître hors-sol. Nous avons retenu une part de 10%, ce qui signifie qu'un dixième de la surface totale des différentes exploitations concernées est impliquée dans un projet agrivoltaïque. Attention, cela ne représente pas 10% de la SAU totale de l'Oise mais 7,5%, étant donné que certaines cultures ne font pas partie des exploitations mentionnées dans la partie précédente (**3.3.2**).

Voici un tableau qui récapitule les données utiles au calcul :

Exploitation	Technologie	Taux de couverture (%)	Densité de puissance (MWc/ha)	Part concernée (%)
Cultures céréalières	Persiennes	10	0,2	10
Betteraves industrielles	Ombrières	10	0,24	
Pommes de terre	Ombrières	10	0,24	
Prairie (fourrage)	PV bifaciaux	Abs	0,44	
Elevage	Ombrières	Abs	0,72	

Tableau 8 : Paramètres nécessaires au calcul du potentiel

Ensuite, grâce au Registre Parcellaire Graphique (RPG) de l'année 2023, on détermine les surfaces agrégées des différentes cultures par EPCI, desquelles on calcule le potentiel en utilisant le tableau ci-dessus. On obtient alors la production potentielle de l'agrivoltaïsme, par EPCI (voir *Figure 11*). A l'échelle du département, la production s'élève à 5741 GWh/an. Pour mettre ce chiffre en perspective, même avec 0 éolienne, 0 unité de biogaz, 0 centrales solaire et aucune toiture couverte de panneaux photovoltaïques, une telle production suffit théoriquement à alimenter en électricité locale l'ensemble du département dans notre scénario RTE 100% EnR (voir *Tableau 3-a*), et avec un surplus de 1000 GWh/an...

Evidemment, un tel « mix » est irréaliste, et tombe au premier obstacle : les panneaux ne produisent pas la nuit, cela pose donc d'énormes problèmes de stockage de l'énergie. Les EnR sont efficaces lorsqu'elles sont couplées ou associées, il est donc inutile de les mettre en concurrence et de tout miser sur une seule de ces sources.

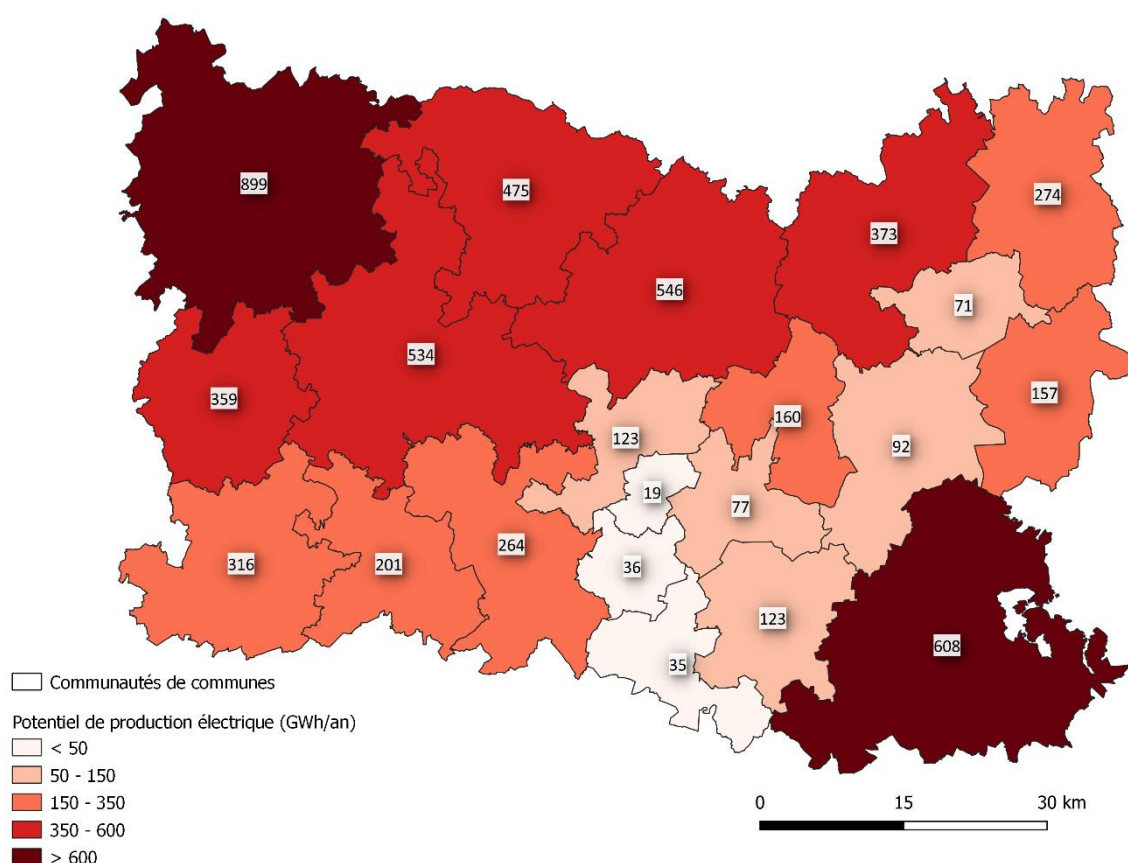


Figure 11 : Estimation du potentiel agrivoltaïque de l'Oise (©Yannis Thoirain)

3.3.4 L'objectif pour l'agrivoltaïsme

L'idée de la carte précédente est uniquement de chiffrer un potentiel qui ne sera donc jamais exploité dans son intégralité, elle ne nous renseigne pas sur l'objectif attendu pour cette filière. En revanche, en se basant sur le travail réalisé lors de la mission précédente il est possible de donner une première appréciation de ces objectifs.

Dans nos scénarios de mix énergétiques, lors de la décomposition de la production solaire, nous avons réservé une place à l'agrivoltaïsme. C'est dans le scénario M0 (100% EnR) que sa valeur de production est la plus importante atteignant 574 GWh, c'est donc ce scénario qui va nous servir de référence pour établir l'objectif. Il faut donc produire 574 GWh d'électricité grâce à l'agrivoltaïsme pour que notre scénario incluant le plus d'EnR soit fonctionnel (c'est-à-dire que l'on atteigne les chiffres de production annoncés). Pour cela, on reprend les mêmes considérations de calcul que celles du *Tableau 8* en modifiant le paramètre « part concernée » afin d'attendre cette valeur de production.

On l'obtient pour une part de 1%.

Exploitation	Technologie	Taux de couverture (%)	Densité de puissance (MWc/ha)	Part concernée (%)
Cultures céréalières	Persiennes	10	0,2	1
Betteraves industrielles	Ombrières	10	0,24	
Pommes de terre	Ombrières	10	0,24	
Prairie (fourrage)	PV bifaciaux	Abs	0,44	
Elevage	Ombrières	Abs	0,72	

Tableau 9 : Paramètres nécessaires au calcul de l'objectif

Enfin, pour permettre au syndicat et aux collectivités de mieux visualiser ce que représente 570 GWh d'agrivoltaïsme tant à l'échelle de l'Oise que des EPCI, nous avons affiché sur la carte (*Figure 12*) la surface totale concernée par une installation agrivoltaïque par EPCI. Cet indicateur a le mérite d'être plus parlant que la quantité d'énergie relativement difficile à appréhender.

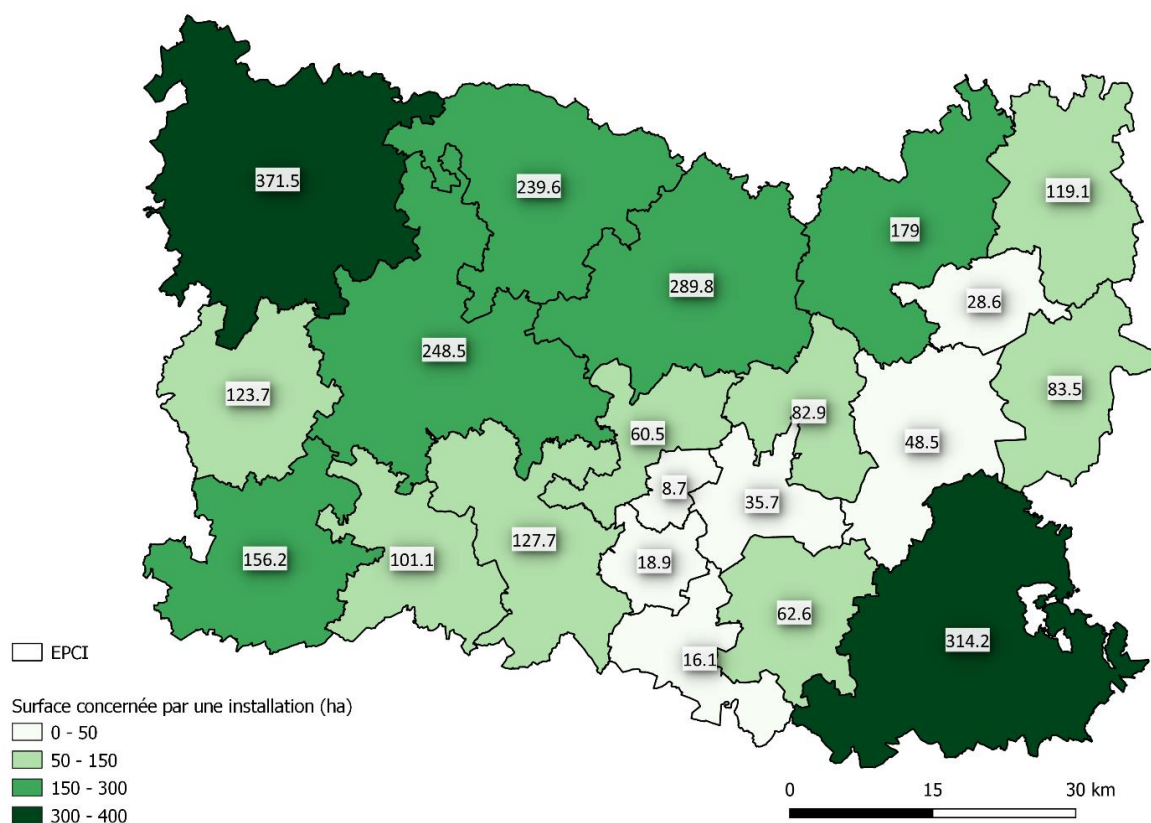


Figure 12 : Surface agricole totale impliquée dans un projet agrivoltaïque pour atteindre l'objectif de cette filière (©Yannis Thoirain)

A l'échelle de l'Oise, la surface totale s'élève à 2776 ha, ce qui représente un peu moins d'1% de sa SAU. Surtout ce n'est pas 1% qui disparaît, au contraire, si l'on se rattache au rôle premier de l'agrivoltaïsme c'est 1% sensible au dérèglement climatique et avec un besoin accru de protection qui devrait être protégés des aléas climatiques, ce qui pourraient aider à son maintien.

En réalité, c'est cela qu'il faut comprendre avec l'agrivoltaïsme. Si la pratique est bien orchestrée, ce ne sont pas « n'importe quels » 2776 ha, mais des exploitations nécessitant une protection, notamment contre la chaleur. Cette filière, de par son ambition de concilier une production alimentaire avec une production électrique, est unique et avec elle apparaissent de nombreux enjeux socio-économiques, tels que la réaffectation de cultures agricoles en zones de pâturage pour faciliter l'installation d'un projet agrivoltaïque (ce que l'on appelle un « projet alibi ») ou le risque que les loyers versés par le développeur à l'exploitant n'encouragent ce dernier à abandonner une partie de sa production alimentaire.

C'est pourquoi une note d'enjeu sur l'agrivoltaïsme, à laquelle j'ai contribué, est en cours d'élaboration par le SE60. L'objectif de cette note est de clarifier la position du syndicat par rapport à la filière et de fournir aux élus des éléments (sur les enjeux, les bonnes pratiques, etc.) afin de leur permettre d'être mieux préparés pour répondre aux sollicitations d'un développeur.

4. Immersion, formations et retour d'expérience

Pendant mon stage, j'ai eu l'opportunité de participer à diverses formations et forums, ainsi qu'à certaines "missions type" des agents de la planification territoriale. J'ai décidé de revenir sur deux de ces journées qui, à mon sens, illustrent particulièrement bien le monde de la planification, avant de conclure par un rapide retour d'expérience.

- **Journée régionale du Solaire (14/05)**

La journée régionale du Solaire à Loos-en-Gohelle est organisée chaque année par le CD2E (Centre de Déploiement de l'Éco-transition dans les Entreprises et les territoires). Cette journée s'inscrivait parfaitement dans le cadre de mon stage en proposant différents ateliers en rapport avec l'énergie solaire, avec pour objectifs de rassembler des témoignages sur le panel de solutions existantes, et ainsi promouvoir le solaire sous toute ses formes (pompes à chaleur, thermique, photovoltaïque, etc.), notamment auprès des collectivités.

L'un des ateliers portait sur l'agrivoltaïsme et s'intitulait : « Agrivoltaïsme : quelles pratiques pour des projets concertés ? ». Étant donné son rapport direct avec mon stage, c'était l'atelier que j'attendais le plus. Cependant, il s'est révélé quelque peu superficiel, consacrant beaucoup de temps au décret du 8 avril 2024 encadrant la pratique, et abordant finalement peu la concertation et l'intégration des différents acteurs tout au long d'un projet. Toutefois, je retire beaucoup d'éléments positifs de cette journée. D'une part, l'expérience elle-même d'avoir pu assister à ce type de forum rassemblant des élus, des associations, des syndicats, des entreprises et des développeurs a été très enrichissante. D'autre part, j'ai beaucoup appris sur l'importance de non seulement élaborer des outils, mais aussi de les diffuser auprès des communes et des particuliers, sans quoi, ils tombent généralement dans l'oubli.

- **Journée d'informations et d'échanges autour de la transition énergétique (04/06)**

Cette journée, organisée par l'équipe de Planification du Pôle Énergie, avait pour objectif d'apporter une base de connaissances aux chargés de mission des EPCI sur le domaine de la transition énergétique. La journée a abordé de nombreux thèmes liés à la transition énergétique, tels que l'évolution du mix énergétique, les énergies renouvelables et leurs leviers de développement, la question du raccordement, et le secteur du bâtiment. J'ai personnellement participé à la présentation sur le solaire photovoltaïque, où j'ai partagé mes premières recherches et résultats sur l'agrivoltaïsme. Certaines questions m'ont d'ailleurs permis de faire avancer ma réflexion sur le sujet.

Pour les agents du syndicat, la préparation de cette formation a nécessité un travail précis et rigoureux afin de fournir des informations exactes à l'auditoire. Cela demande également de la prudence pour rester aussi objectif que possible malgré ses propres convictions. Enfin, ce type d'événement permet de « prendre la température », de comprendre les inquiétudes et les questions des acteurs du territoire. C'est notamment à cette occasion que j'ai pris conscience du climat de méfiance existant envers l'agrivoltaïsme.

- **Retour d'expérience**

Je retiens beaucoup de positif de mon passage au SE60 et de ce stage. Les deux missions que j'ai effectuées avaient une vraie finalité utile et qui servira aux agents chargés de la planification. Lors de ce stage, j'ai été confronté à des obstacles (manque de ressources bibliographiques, options pour la modélisation) qui m'ont obligé à trouver des astuces pour, malgré tout, arriver au résultat attendu. J'ai également particulièrement aimé de voir l'objectif de la mission « agrivoltaïque » évoluer, passant de l'idée de calculer un gisement brut à l'échelle de l'Oise à estimer la surface nécessaire pour atteindre une production cohérente avec la première mission. C'est d'ailleurs le dernier point que je souhaite évoquer : la complémentarité des missions. Travailler sur les deux missions en parallèle afin de découvrir des éléments sur l'une qui, potentiellement, impacte l'autre. Cela permet de ne rien figer et d'avoir un ensemble complet et qui se justifie mutuellement.

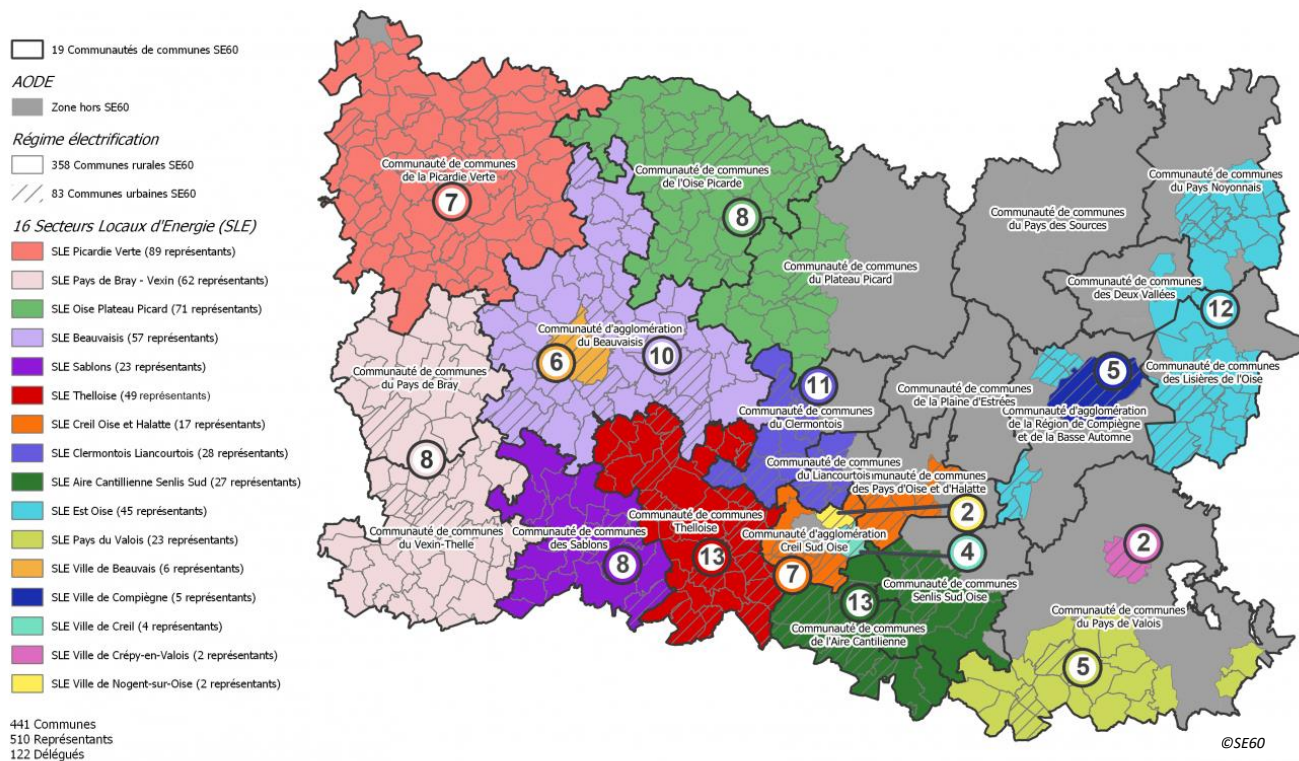
Enfin, ce stage m'a permis de découvrir divers métiers liés à l'énergie, et j'avoue avoir particulièrement apprécié le rôle des chargés de planification territoriale. Ces professionnels jouent un rôle crucial en établissant un lien entre les solutions techniques et les acteurs qui ne sont pas toujours bien informés, tels que les élus, mais qui détiennent l'influence nécessaire pour soutenir ou non ces solutions. Ce métier implique de nombreuses dimensions qui m'intéressent, comme l'aspect social, la sensibilisation, et le domaine des énergies renouvelables. Le rôle des chargés de planification territoriale ne se limite pas à développer les énergies renouvelables, mais vise à les développer de manière réfléchie et toujours au service de la collectivité. De plus, ce rôle s'étend à d'autres domaines, tels que la réhabilitation des friches ou l'élaboration de trames noires. En fin de compte, c'est une profession diversifiée, dont l'ambition finale est d'imaginer, puis de construire l'avenir d'un territoire.

Bibliographie :

- [1] RTE France. *Futurs énergétiques 2050* [en ligne].
Disponible sur : <https://rte-futursenergetiques2050.com/panorama/scenarios>
- [2] France. Ministère de la Transition Écologique et de la Cohérence des Territoires. *Hydroélectricité* [en ligne].
Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/hydroelectricite>
- [3] Observatoire Régionale de l'Éolien. *ArcGIS dashboards* [en ligne].
Disponible sur : <https://sig.hautsdefrance.fr/portal/apps/dashboards/65bbed1cf2504b2fb44ca283ea521aec>
- [4] France Potentiel Solaire. Disponible sur : <https://france-potentiel-solaire.cadastre-solaire.fr/>
- [5] RTE France. 2021. *Fiche presse : Hauts-de-France 2020*.
Disponible sur : <https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-04/RTE-Fiche%20presse-%20Hauts-de-France2020.pdf>
- [6] RTE France. 2021. *Bilan électrique 2020*.
Disponible sur : https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-03/Bilan%20electrique%202020_0.pdf
- [7] RTE France. (2022). *Futurs énergétiques 2050, rapport complet*. Page 174.
- [8] INRAE. « *Des panneaux ? Oui mais pas trop !* » [en ligne].
Disponible sur : <https://www.inrae.fr/dossiers/agriculture-forets-sources-denergie/panneaux-oui-pas-trop>
- [9] ADEME. 2021. *Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme*. Récupéré de :
<https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4992-caracteriser-les-projets-photovoltaïques-sur-terrains-agricoles-et-l-agrivoltaïsme.html>
- [10] Institut de l'élevage. (2021). *L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants*. Page 29. Disponible sur :
<https://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2021/10/Lagrovoltaïsme-applique-a-lelevage-des-ruminants.pdf>
- [11] Laub, M., Pataczek, L., Feuerbacher, A. *et al.* Contrasting yield responses at varying levels of shade suggest different suitability of crops for dual land-use systems: a meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* **42**, 51 (2022).
<https://doi.org/10.1007/s13593-022-00783-7>
- [12] Chambre d'Agriculture des Hauts-de-France. (2021). *Portrait agricole : Amont-Aval - Département de l'Oise*. Disponible sur : https://old-hautsdefrance.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Hauts-de-France/Portrait_agricole_Amont_Aval_Departement_Oise.pdf

Annexes :

Annexe 1 : Carte des Secteurs Locaux d'Energie et des Communautés de Communes de l'Oise



Date de mise à jour : 03/02/2020

Annexe 2 : Les 6 scénarios de mix de production électrique par RTE (échelle nationale)

Production Echelle Nationale - Trajectoire de référence

Scénarios	2030											
	M0		M1		M23		N1		N2		N03	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Thermique	29	5	28	5	28	5	28	5	28	5	25	4
Nucléaire	343	60	353	60	353	60	353	60	353	60	374	62
Éolien terrestre	68	12	68	12	68	12	68	12	68	12	68	11
Éolien en mer	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3	18	3
Photovoltaïque	42	7	42	7	42	7	42	7	42	7	42	7
Énergies marines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydraulique	63	11	63	11	63	11	63	11	63	11	63	10
Bioénergies	12	2	12	2	12	2	12	2	12	2	12	2
Total	575	100	584	100	584	100	584	100	584	100	602	100

Scénarios	2050											
	M0		M1		M23		N1		N2		N03	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Thermique	1	0	0,5	0	1	0	1	0	1	0	0	0
Nucléaire	0	0	91	13	91	13	182	27	252	38	339	51
Éolien terrestre	149	21	119	17	145	21	117	17	104	16	87	13
Éolien en mer	224	31	162	23	215	31	160	24	129	19	78	12
Photovoltaïque	255	36	255	36	153	22	144	21	110	16	86	13
Énergies marines	9	1	3	0	9	1	0	0	0	0	0	0
Hydraulique	63	9	63	9	63	9	63	9	63	9	63	9
Bioénergies	12	2	12	2	12	2	12	2	12	2	12	2
Total	713	100	705,5	100	688	100	678,5	100	670,5	100	665	100

Intitulé des différents scénarios selon RTE :

M0 : Un mix électrique reposant à 100% sur des énergies renouvelables en 2050

M1 : Des énergies renouvelables réparties de manière diffuse sur le territoire

M23 : Un développement des énergies renouvelables centralisés autour de grands parcs

N1 : Une relance de la filière nucléaire - trajectoire industrielle basse

N2 : Une relance affirmée de la filière nucléaire – trajectoire industrielle haute

N03 : Un mix composé à 50% de nucléaire et 50% d'énergies renouvelables en 2050

Annexe 3 : Les gisements EnR électriques par EPCI

EPCI	Hydro-électricité		Ombrières		Petites toitures		Grandes toitures		Éolien	
	GWh/an	%	GWh/an	%	GWh/an	%	GWh/an	%	GWh/an	%
CA Creil Sud Oise	5,9	26	49	12	98,0	5	120	11	0	0
CA de la Région de Compiègne et de la Basse Auto	10,4	45	68	17	142,0	7	113	11	0	0
CA du Beauvaisis	1,6	7	66	16	223,0	11	142	13	517,08	9
CC de la Picardie Verte	2,27	10	6,6	2	169,0	8	57,5	5	1434,6	26
CC de la Plaine d'Estrées	0	0	35	9	59,0	3	48,1	5	380,4	7
CC de l'Aire Cantilienne	0	0	28	7	87,0	4	30,1	3	0	0
CC de l'Oise Picardie	0,18	1	4,2	1	98,0	5	31,4	3	1289,88	23
CC des Deux Vallées	0,06	0	7,1	2	59,0	3	25,6	2	0	0
CC des Lisières de l'Oise	0,02	0	3,9	1	40,0	2	10,1	1	0	0
CC des Pays d'Oise et d'Halatte	0	0	9,4	2	81,0	4	41,9	4	172,32	3
CC des Sablons	0	0	10	2	96,0	5	50	5	0	0
CC du Clermontois	0,7	3	24	6	86,0	4	36	3	330,24	6
CC du Liancourtois - Vallée Dorée	0,03	0	10	2	48,0	2	21,8	2	0	0
CC du Pays de Bray	0,27	1	2,2	1	68,0	3	22,9	2	0	0
CC du Pays de Valois	0	0	16	4	151,0	7	103	10	75,48	1
CC du Pays des Sources	0,04	0	12	3	96,0	5	23,3	2	536,88	10
CC du Pays Noyonnais	0	0	11	3	100,0	5	35,4	3	64,2	1
CC du Plateau Picard	0,35	2	5,8	1	108,0	5	34,4	3	698,16	13
CC du Vexin-Thelle	0	0	8,8	2	76,0	4	22	2	0	0
CC Senlis Sud Oise	0	0	13	3	62,0	3	38	4	0	0
CC Thelloise	1,3	6	19	5	172,0	8	62	6	0	0
Sous-total	23,12		409		2119		1069		5499	
Total	23,12				3597				5499	

Annexe 4 : Les 6 scénarios de mix de production électrique – version brute (échelle de l’Oise)

Production Echelle Oise - Trajectoire de référence

2030												
Scénarios	M0		M1		M23		N1		N2		N03	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Thermique	323	5	312	5	312	5	312	5	312	5	278	4
Nucléaire	3820	60	3931	60	3931	60	3931	60	3931	60	4165	62
Éolien terrestre	757	12	757	12	757	12	757	12	757	12	757	11
Éolien en mer	200	3	200	3	200	3	200	3	200	3	200	3
Photovoltaïque	468	7	468	7	468	7	468	7	468	7	468	7
Énergies marines	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydraulique	702	11	702	11	702	11	702	11	702	11	702	10
Bioénergies	134	2	134	2	134	2	134	2	134	2	134	2
Total	575	100	584	100	584	100	584	100	584	100	602	100

2050												
Scénarios	M0		M1		M23		N1		N2		N03	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Thermique	6	0	5,6	0	6	0	6	0	6	0	0	0
Nucléaire	0	0	1013	13	1013	13	2027	27	2806	38	3775	51
Éolien terrestre	1659	21	1325	17	1615	21	1303	17	1158	16	969	13
Éolien en mer	2494	31	1804	23	2394	31	1782	24	1437	19	869	12
Photovoltaïque	2840	36	2840	36	1704	22	1604	21	1225	16	958	13
Énergies marines	100	1	33	0	97	1	0	0	0	0	0	0
Hydraulique	702	9	702	9	702	9	702	9	702	9	702	9
Bioénergies	134	2	134	2	134	2	134	2	134	2	134	2
Total	713	100	705,5	100	688	100	678,5	100	670,5	100	665	100

Annexe 5 : Répartition des Surfaces Agricoles Utiles dans l’Oise (2022)

Types	Surface (en ha)	Surface (en %)	Dont ..	Surface (en ha)	Surface (en %)
Céréales	204763	56	Blé tendre	145382	39,8
			Orge	38905	10,6
			Maïs	20476	5,6
Oléo-protéagineux	50907	14	Colza	38180	10,5
			Pois protéagineux	10250	2,8
			Autres (Fèves)	2477	0,7
Betteraves industrielles	37485	10			
Surface en herbe	31080	8	Bovins	27972	7,2
			Ovins	3108	0,8
Fourrage et prairies temporaires	18180	5			
Pommes de terre	7360	2			
Plantes à fibre et autres	6290	2			
Jachères	5700	2			
Légumes et plantes	5066	1			
Total	366831				



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

THOIRAIN Yannis
2022-2023

Titre : L'électricité renouvelable dans l'Oise

Sous-titre : Etude sur les mix électriques RTE et le développement de l'agrivoltaïsme

Résumé : Dans le cadre de la transition énergétique, concept qui englobe l'ensemble des énergies et comprend à la fois la consommation et la production, nous allons nous intéresser à l'avenir de la production d'électricité dans l'Oise. Dans un premier temps, l'objectif est de transposer les scénarios nationaux de futurs électriques conçus par RTE à l'échelle départementale et de les traduire en termes d'infrastructures énergétiques locales. Dans un second temps, nous examinerons la filière technologique émergente que représente l'agrivoltaïsme pour mieux comprendre son potentiel, ses enjeux, et la place qu'elle peut occuper sur le territoire.

Mots Clés : Prospective, Gisement, Mix électrique, Energies Renouvelables, Agrivoltaïsme

Syndicat d'Energie de l'Oise

9164 Avenue des Censives, 60000 Tillé

Tuteur entreprise :

CARON Guerric

Chargé de Planification Territoriale

Tuteur académique :

LEHEC Elisabeth