

**GIMIÉ D'ARNAUD** Quentin  
**JOUANNIC** Ewan  
**SOUMARE** Djibril

# Réalisation d'un cadastre solaire dans deux communes gersoises



# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>I. Présentation des sites d'études</b>	<b>4</b>
1. Ordan-Larroque	5
2. Montégut	7
<b>II. Préparation des données</b>	<b>11</b>
1. Modèle numérique de surface	12
2. Calculs de pente et d'exposition	13
Orientation	13
Pente	14
3. Préparation des données vectorielles de toitures	15
Extraction de l'emprise des bâtiments	15
Création de l'exposition des toitures	16
Segmentation de l'exposition des toitures	17
Vectorisation	18
Post traitement des géométries des toitures des bâtiments	19
<b>III. Calcul du potentiel photovoltaïque</b>	<b>20</b>
1. Récupération des données via PVGIS	21
2. Prédiction du potentiel photovoltaïque avec un modèle	23
Analyse bivariée	23
Entraînement du modèle	24
Évaluation du modèle	24
Déploiement du modèle	24
<b>IV. Mise en place du cadastre solaire</b>	<b>25</b>
1. Préparation des données	26
2. Création d'une webmap et d'un dashboard	27
<b>Conclusion</b>	<b>29</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>30</b>
<b>Annexe</b>	<b>31</b>
Le code python pour le modèle de prédiction d'énergie	31

# Introduction

L'État met en œuvre une politique énergétique internationale ambitieuse qui s'aligne de manière cohérente sur les orientations nationales et territoriales, en particulier dans la lutte contre le changement climatique. Les politiques publiques favorisent la croissance verte en promouvant des processus à faibles émissions de gaz à effet de serre, en contrôlant la consommation d'énergie et de matières, en informant sur l'impact environnemental des biens et services.

Développer massivement les énergies renouvelables et créer de l'activité économique au sein des territoires font partie des principaux objectifs des différentes politiques publiques engagées ces dernières années.

La Loi de Transition Énergétique, publiée en août 2015, vise notamment à augmenter la part des énergies renouvelables à 23% de la consommation finale brute d'énergie d'ici 2020 et à 32% d'ici 2030. Cette orientation a été renforcée par la Loi Énergie Climat de novembre 2019, fixant l'objectif d'atteindre au moins 33% d'énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie d'ici 2030. De plus, la réduction de la part du nucléaire dans la production d'électricité de 75% à 50% a été repoussée de 2025 à 2035, conformément aux dispositions de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie

(PPE) adoptée en avril 2020, qui définit les priorités pour les périodes 2019-2023 et 2024-2028.

Toutes ces politiques publiques préconisent le développement de l'énergie solaire, source d'énergie renouvelable à faibles émissions de CO<sub>2</sub>, sans déchets non recyclables, sans nuisances sonores, et créatrice d'emplois locaux. Dans ce cadre, les collectivités ont besoin de connaître et de caractériser les emplacements les plus pertinents pour l'installation de solutions solaires sur les toitures et au sol.

Dans le cadre de la poursuite de ces objectifs, l'évaluation du potentiel solaire des territoires, telle que celle menée actuellement dans les localités de Montégut et Ordan-Larroque, s'avère cruciale. Cette étude méthodologique vise à établir un cadastre solaire afin d'identifier les emplacements les mieux exposés au rayonnement solaire, tant en toiture qu'au sol, respectant rigoureusement les critères de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE).

L'objectif est de déterminer les meilleurs emplacements pour l'installation de panneaux solaires, en précisant leur puissance et leur production, afin de guider les décisions futures en matière de politique énergétique et de développement durable.

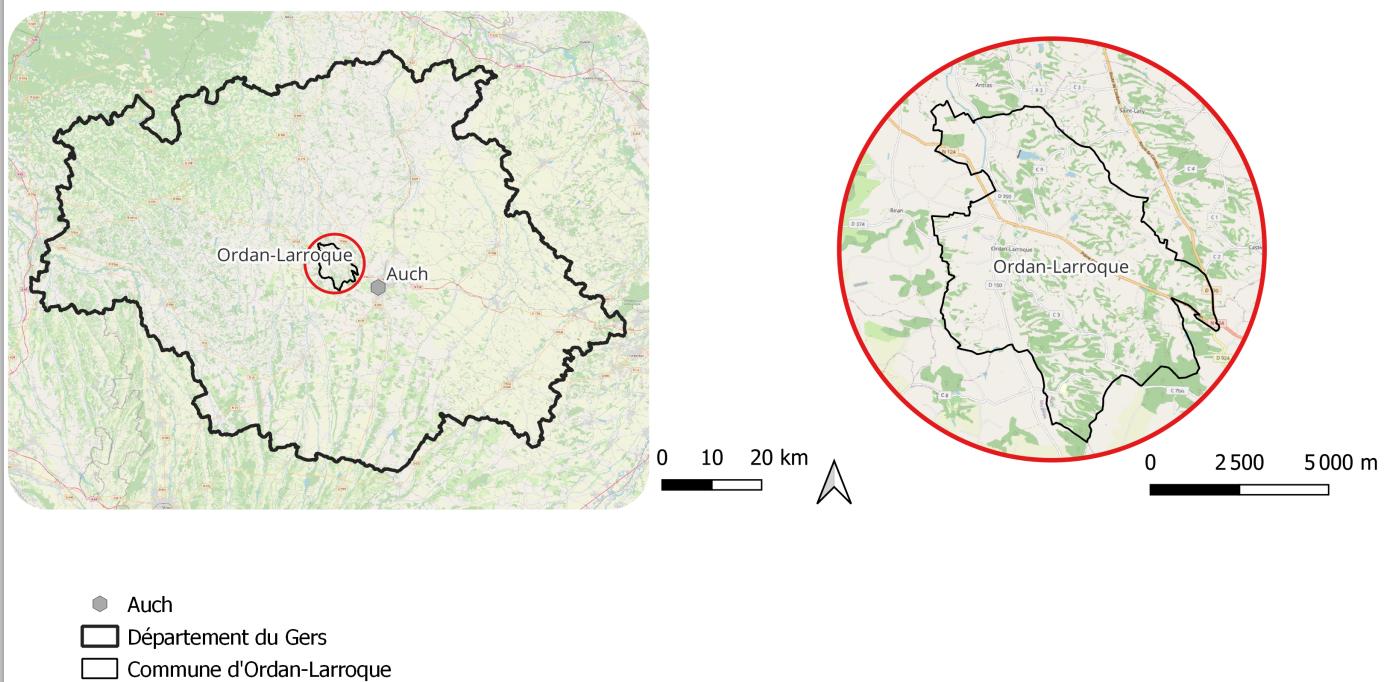
## I. Présentation des sites d'études

Notre projet de cadastre solaire concerne deux communes gersoises : Ordan-Larroque et Montégut.

# 1. Ordan-Larroque

La commune française d'Ordan-Larroque, située dans le département du Gers (32), constitue un élément du Grand Auch. Étalée entre l'Auloue à l'ouest, le Ruisseau Mézerac à l'est et, au nord, le Ruisseau de Larros, la ville offre un relief caractérisé par une topographie variée, mêlant plaines et collines vallonnées et boisées. Située au nord-Est d'Auch, la commune d'Ordan-Larroque se distingue par sa configuration urbaine. Conformément aux critères de l'Insee, elle présente une zone bâtie abritant au moins 2 000 habitants, où aucune habitation n'est séparée de la plus proche de plus de 200 mètres. La concentration de la population se concentre principalement dans le bourg et son extension, connue sous le nom de « En Cassagne ». La superficie est de 42,64 km<sup>2</sup> et sa démographie selon l'Insee est de 884 habitants en 2020, soit en baisse depuis car 874 habitants en 2021.

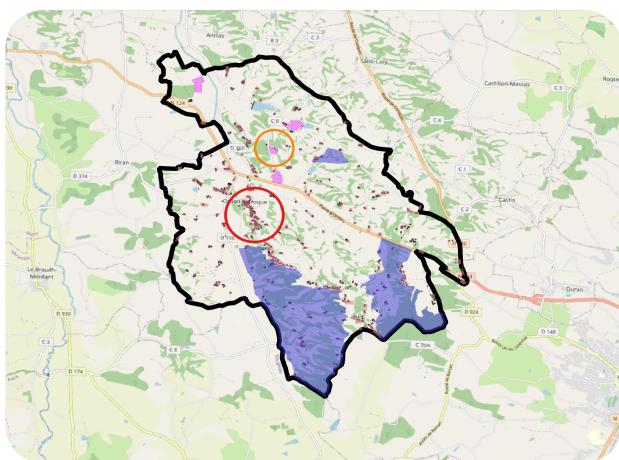
Carte de localisation de la commune d'Ordan-Larroque



Sources : BD Topo, OSM  
Date : 15/02/2024

L'étude de la commune d'Ordon-Larroque révèle des contraintes urbanistiques importantes. Elle est entourée de zones protégées, notamment au nord par une zone patrimoniale et archéologique, créant des contraintes de visibilité. De plus, des zones naturelles réservées encerclent le bourg de la commune. Cependant, le centre du bourg, notre site d'étude, n'est pas affecté par ces contraintes.

Contraintes dans la commune et dans le village d'Ordon-Larroque



0 1 2 km  
A



0 185 370 m

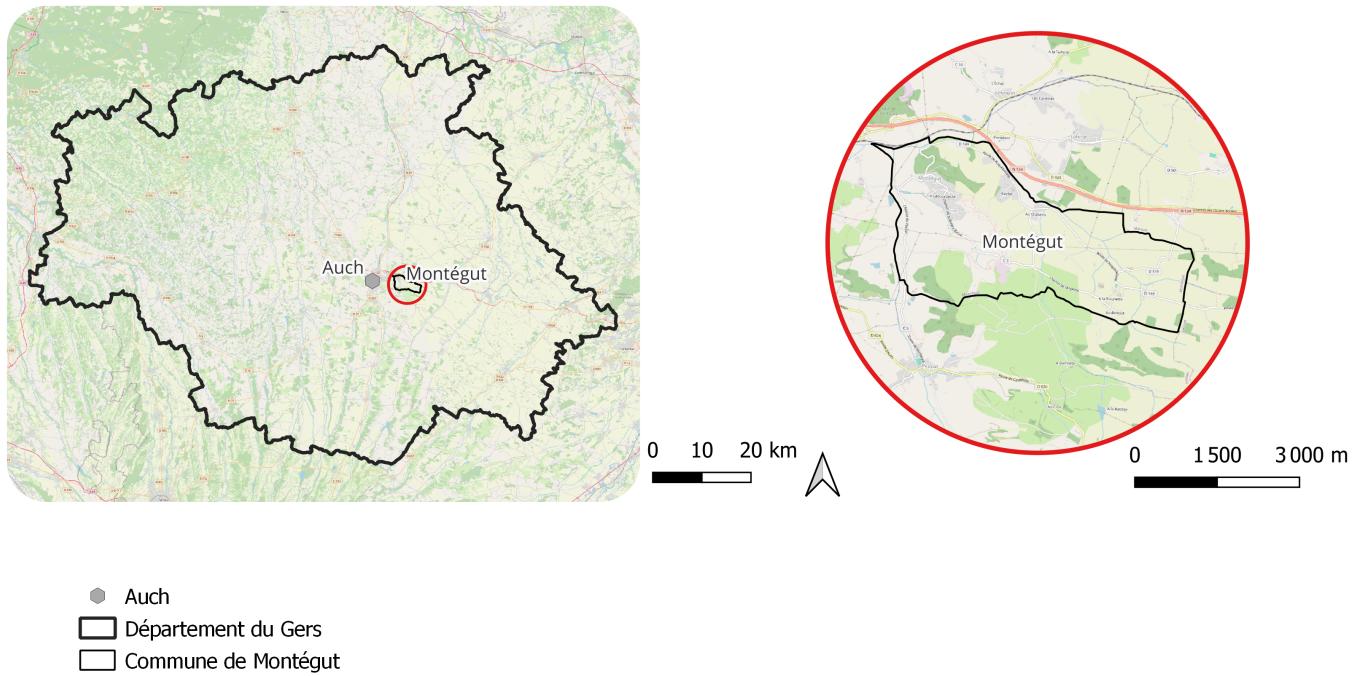
- Commune d'Ordon-Larroque
- ZNIEFF 1
- Immobilier classé ou inscrit
- Zone de protection aux abords des monuments historiques
- Zones de présomption de prescriptions archéologiques
- Zone construite
- Bâtiments

Sources : Atlas des patrimoines, BD Topo,  
OCSGE, INPN, OSM  
Date : 15/02/2024

## 2. Montégut

La commune de Montégut se situe dans le Gers à proximité de la commune d'Auch. Elle compte 616 habitants et s'étend sur une superficie de 11 km<sup>2</sup>. Il s'agit d'une commune à dominante rurale : elle est considérée comme une commune peu dense voire très peu dense selon les critères de l'INSEE. Nous pouvons distinguer un habitat ancien, dans le centre-bourg, proche du château et un habitat plus récent en périphérie.

Carte de localisation de la commune de Montégut

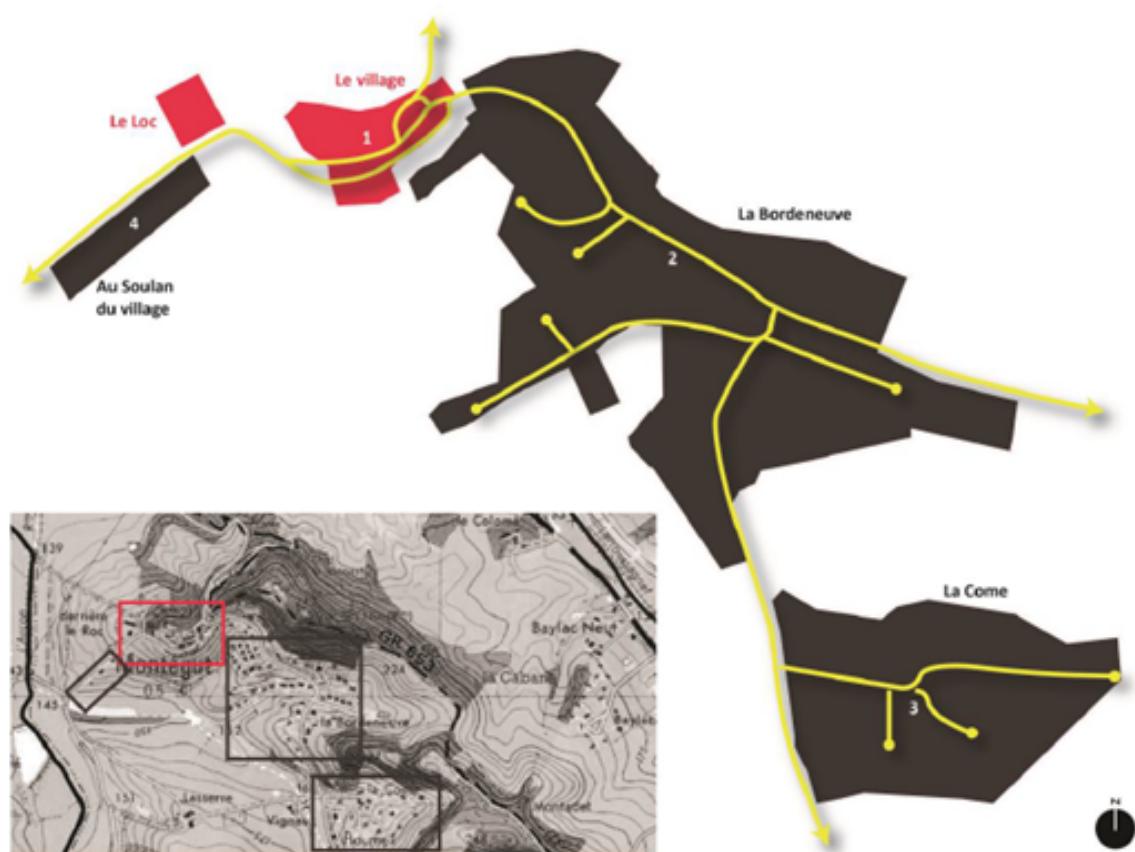


Sources : BD Topo, OSM  
Date : 15/02/2024

### 3.2 Identification du bourg centre et des principaux quartiers

4 quartiers sont identifiables sur la commune :

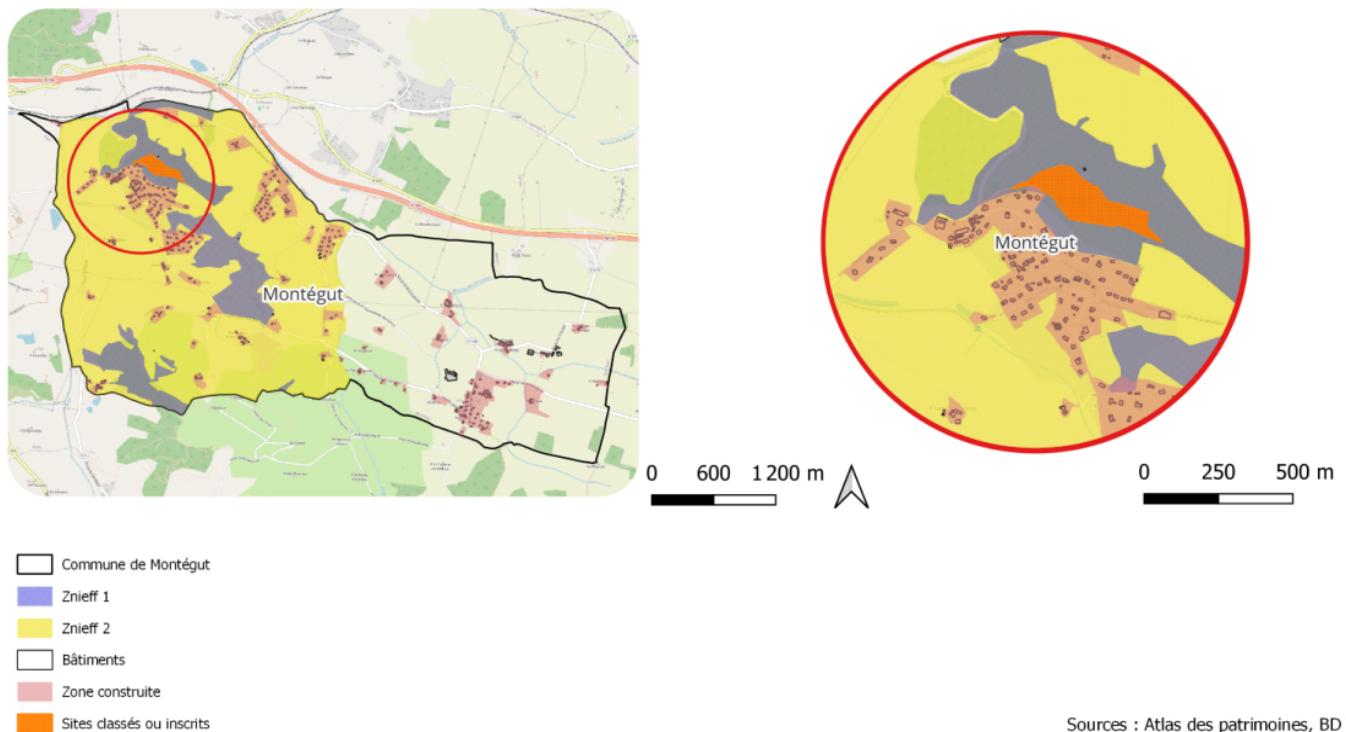
- Le village composé de 4 séquences distinctes ;
- Séquence du château et village ancien (1)
- Séquence de La Bordeneuve (2)
- Séquence de La Come (3)
- Séquence Au Soulan du village (4)



La carte communale de Montégut identifie quatre quartiers : la séquence du château et le village ancien, la séquence de la Bordeneuve, la séquence de la Come et enfin la séquence Au Soulan du village. La zone d'étude concernée par le cadastre solaire se situe au niveau du centre-bourg, c'est-à-dire la séquence du château et du village ancien. Mais il est possible de l'élargir à La Bordeneuve.

Les Contraintes et servitudes, la zone d'étude est concernée par une Znieff de type 2 « Coteaux du Gers d'Aries-Espénan à Auch ». Elle est presque couverte par une Znieff de type 1 : « Coteaux et prairies de Montégut et de Lahitte ». On constate aussi à proximité de la zone d'étude une servitude AC2. Il s'agit du site classé de la tour des fées juste au-dessus de la zone d'étude.

Contraintes dans la commune et dans le village de Montégut



Afin de nous assurer que les zones d'études sont compatibles avec l'implantation de panneaux solaires, il faut prendre en compte diverses contraintes. En effet, il s'agit principalement des contraintes concernant le patrimoine naturel et le patrimoine culturel. Les données concernant le patrimoine naturel sont produites par l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN), afin de réaliser une carte des contraintes, nous utilisons les données des Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique de type 1 et 2. Les données relatives au patrimoine culturel proviennent de l'Inventaire des patrimoines : Sites patrimoniaux remarquables (AC4), Protection au titre des abords de monuments historiques (AC1), Zones de présomption de prescriptions archéologiques, Site classé ou inscrit de la région Occitanie, Immeubles classés ou inscrits.

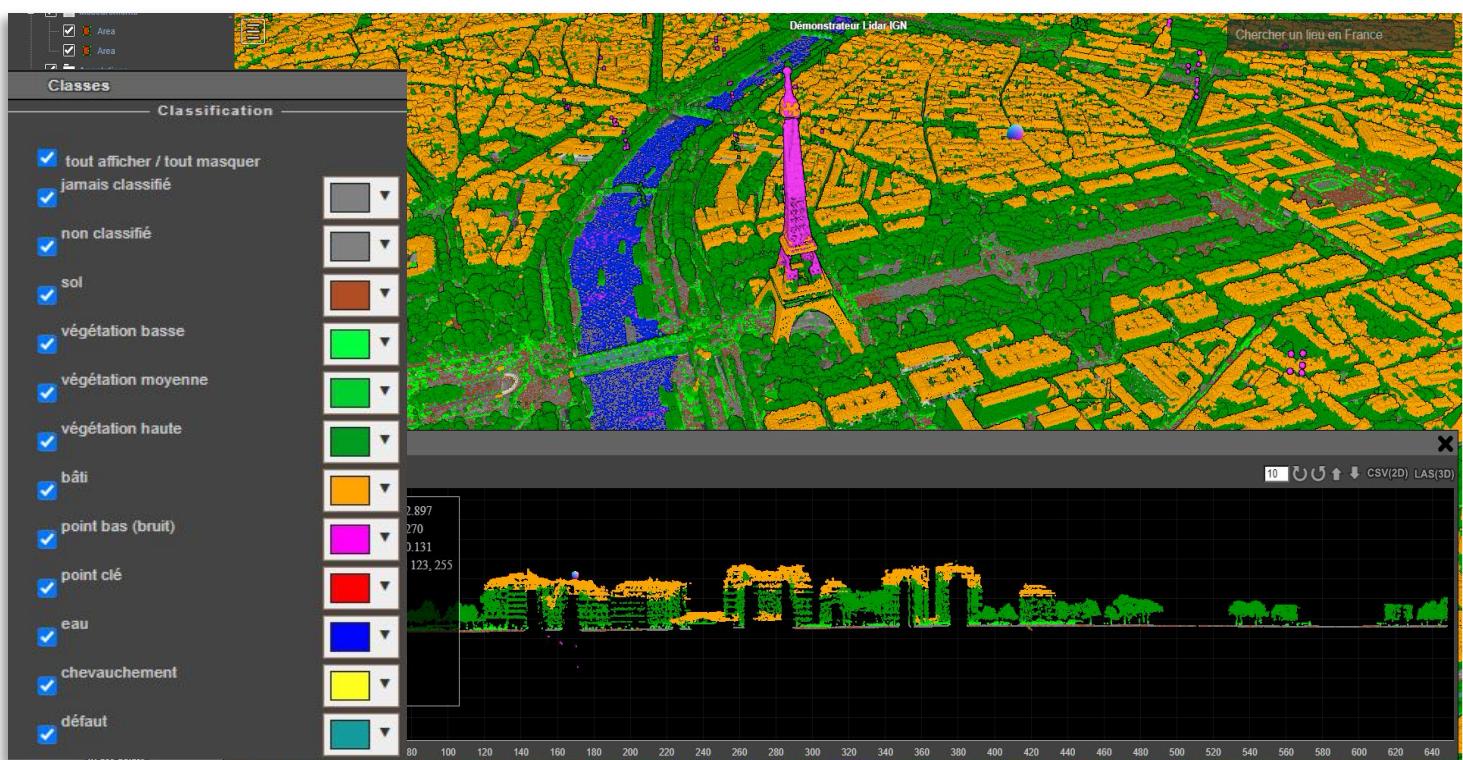
La cartographie de ces contraintes est une étape nécessaire afin de déterminer si la zone est compatible avec le projet d'implantation de panneaux photovoltaïques. La production cartographique prend en compte les mêmes contraintes et peut donc être automatisée dans une optique de reproductibilité. Pour ce faire, il serait alors possible d'utiliser un Model Builder tel que celui de QGIS ou avec FME.

## II. Préparation des données

Afin de réaliser le cadastre solaire, il a été nécessaire de mener plusieurs opérations géomatiques.

# 1. Modèle numérique de surface

Un modèle numérique de surface ou élévation (MNS) est une modélisation 3D pour la description altimétrique du sol et de ses superstructures, c'est-à-dire les objets qui occupent le sol, du fait de l'homme ou non (végétation, bâtiments...). Donc pour calculer le potentiel d'un territoire, le MNS est nécessaire car elle permet de prendre en compte l'analyse de la topographie pour éviter les zones ombragées qui pourraient réduire l'efficacité des panneaux solaires. Le MNS est construit à partir des données de nuages de points 3D acquis dans le cadre du programme Lidar HD sont d'abord classifiés en plusieurs classes (sol, eau, végétation, bâtiments, ponts, sursol pérenne).



Dans le cadre de ce projet, le MNS est créé dans ArcGIS Pro avec outil **jeu de données LAS vers raster** dont le champ de valeur est Altitude et la taille de cellule est 0,20 (20 cm).

## 2. Calculs de pente et d'exposition

La pente et l'exposition d'un site ont un impact significatif sur la performance et la production d'énergie des installations photovoltaïques. Ces deux facteurs sont importants dans le contexte de l'énergie solaire photovoltaïque. On se sert de l'orientation médiane et de la pente pour extraire les données de radiation et de l'estimation d'énergie pour chaque toiture de zones d'études.

### Orientation

L'orientation des panneaux solaires par rapport au soleil (exposition) a un impact direct sur la quantité d'énergie solaire capturée. Les panneaux solaires orientés vers le sud dans l'hémisphère nord (et vers le nord dans l'hémisphère sud) sont généralement les plus efficaces. L'orientation peut également aider à minimiser les effets de l'ombrage des bâtiments, des arbres ou d'autres obstacles qui pourraient réduire la production d'énergie. Afin de calculer l'orientation nous avons utilisé les outils de calcul d'exposition de QGIS (Calcul d'exposition) à partir du modèle numérique de surface.



## Pente

Pente joue un rôle primordial dans l'inclinaison des panneaux solaires par rapport à la surface du sol pour maximiser l'exposition aux rayons du soleil. L'angle optimal dépend de la latitude du site. En ajustant la pente, on peut optimiser la capture de l'énergie solaire tout au long de l'année.

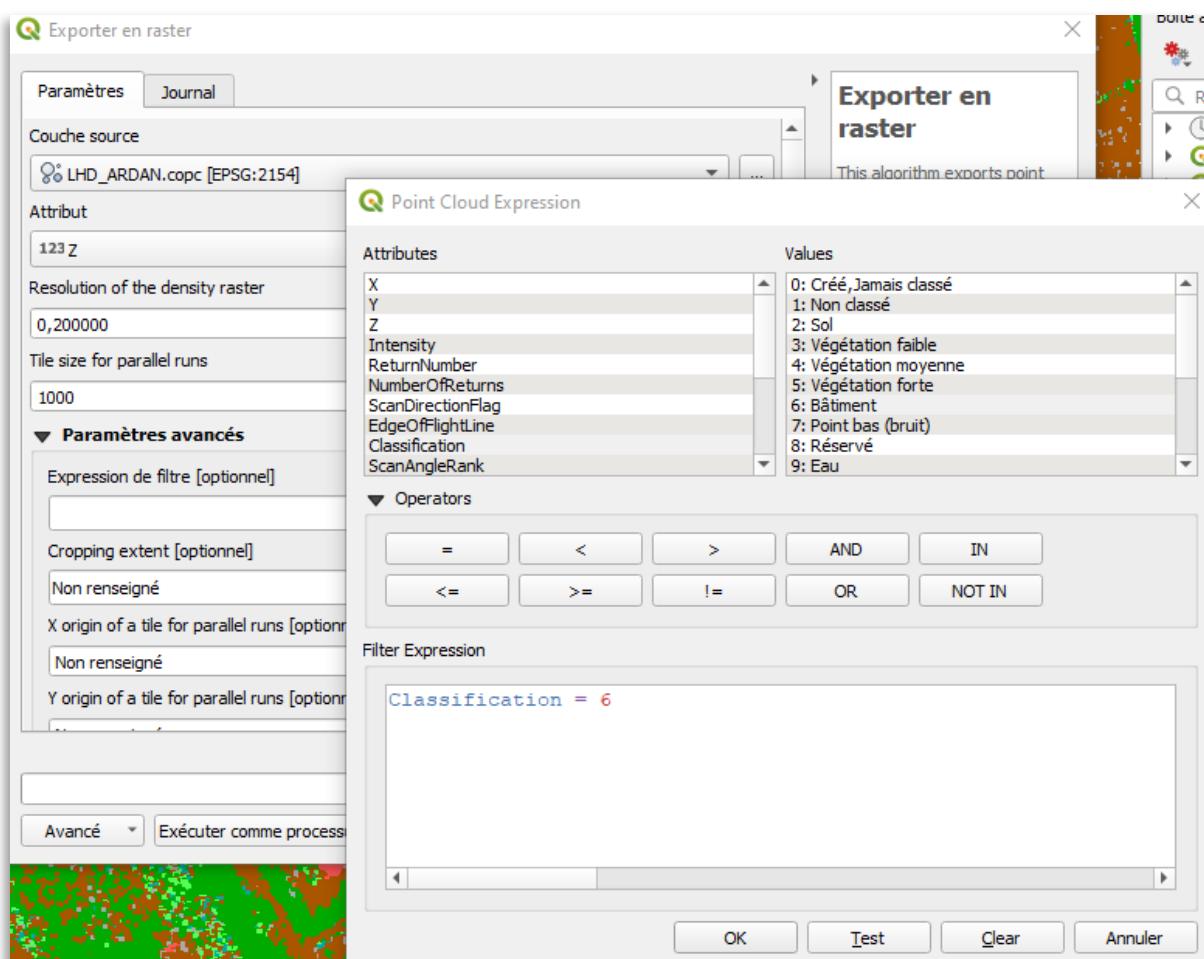


### 3. Préparation des données vectorielles de toitures

Les données sur l'emprise de toitures permettent d'évaluer le potentiel solaire d'une région ou d'une zone spécifique en identifiant les surfaces disponibles pour l'installation de panneaux solaires. Cependant l'obtention de données vectorielles correctes et sans décalage par rapport au modèle numérique de surface constitue une difficulté majeure. En effet, nous avons constaté un décalage important entre le MNS et les données vectorielles des bâtiments provenant de la BDTOPO, d'edigéo et d'OSM. Nous avons eu recours à plusieurs techniques pour extraire l'emprise de toitures de bâtiment. La procédure de ce traitement comprend plusieurs phases :

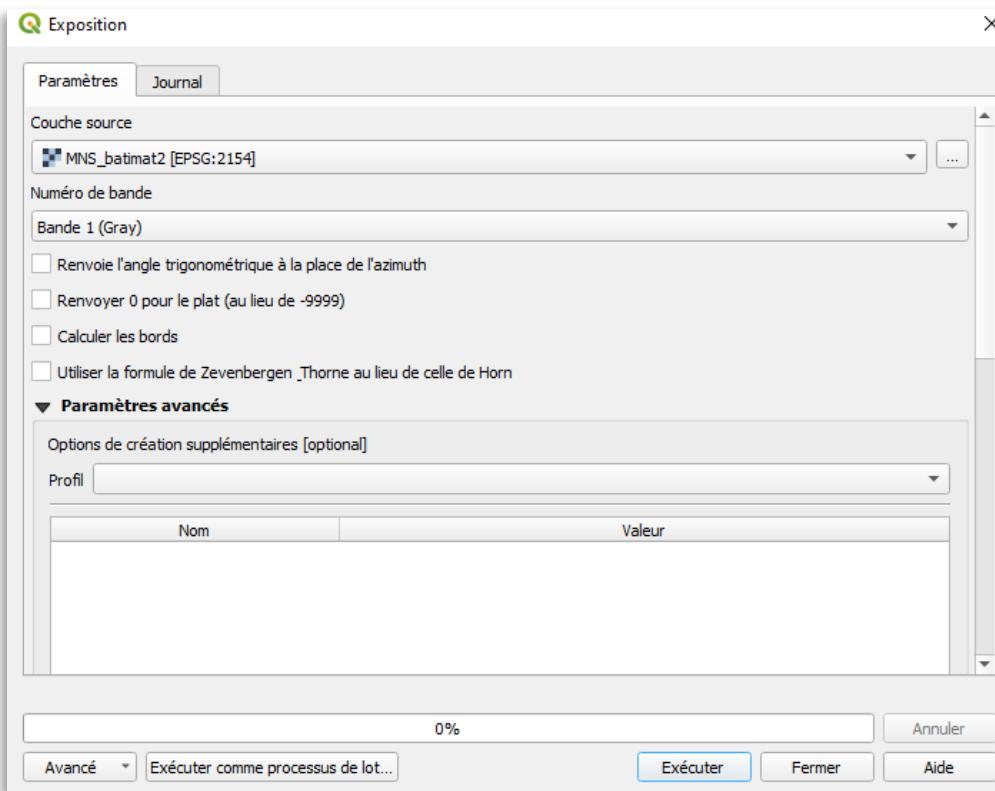
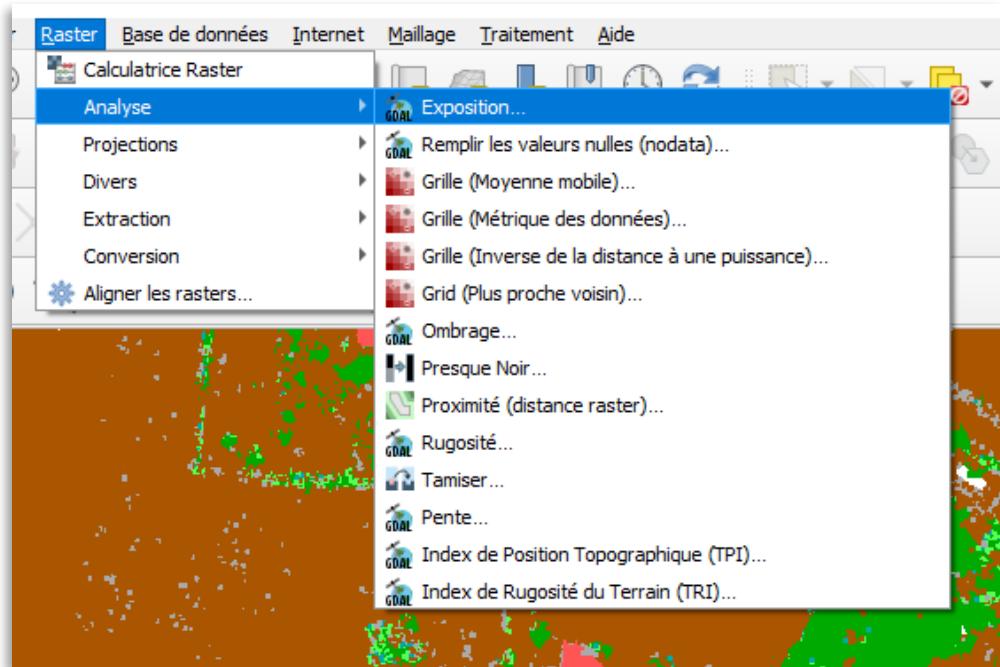
#### Extraction de l'emprise des bâtiments

Cette opération est effectuée à l'aide des outils conversion de nuage de point / Exporter en raster intégrés dans QGIS dont la taille de pixels est de 20 cm.



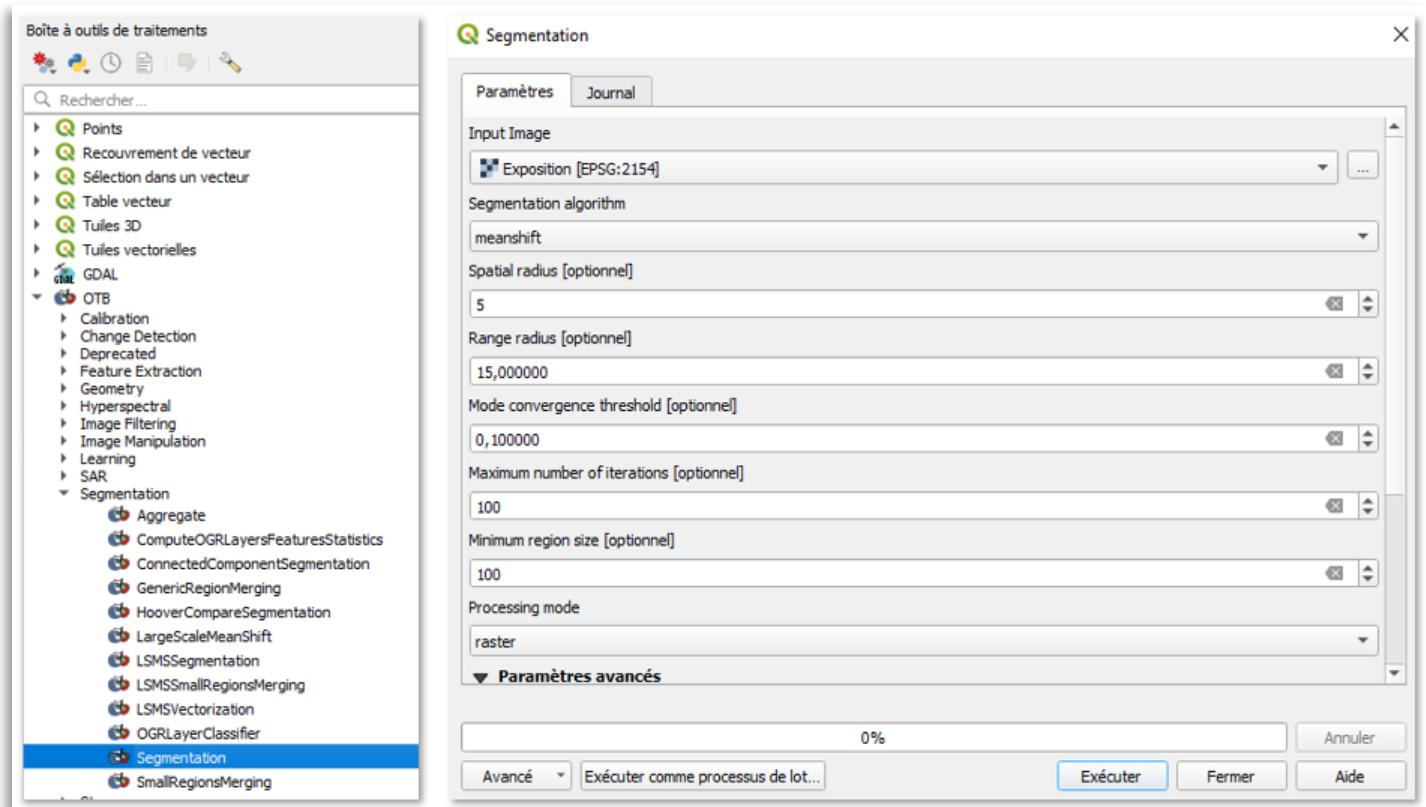
# Création de l'exposition des toitures

Dans cette phase, on a utilisé l'outil raster de QGIS pour créer la couche d'orientation des toits de bâtiments en servant du MNS filtré de lidar.

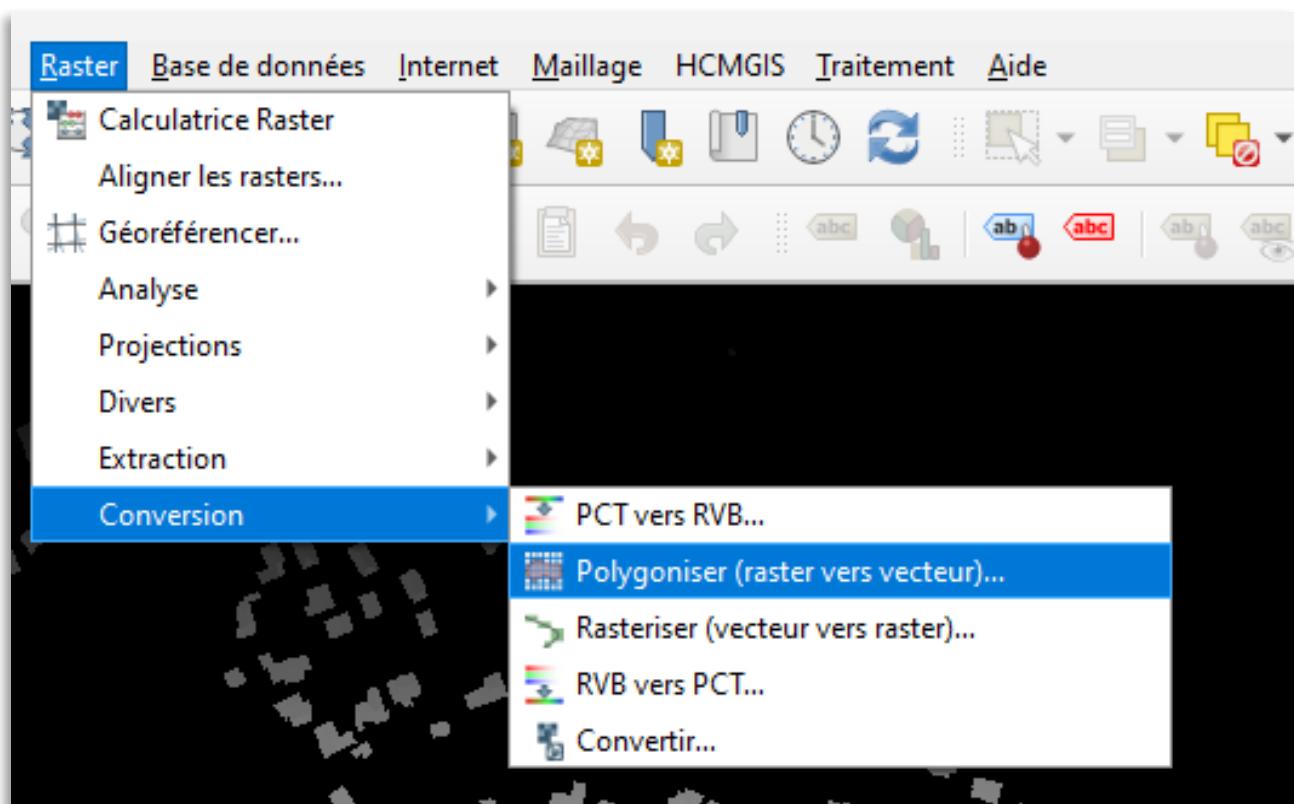


# Segmentation de l'exposition des toitures

Segmentation de pan de toiture : cette étape consiste à découper la couper les parties de toitures d'un bâtiment en plusieurs segment en fonction de leur morphologie et leur orientation. Elle est réalisée avec outil segmentation d'Orfeo Toolbox intégré QGIS en choisissant la couche exposition comme d'entrée et processing mode Raster.



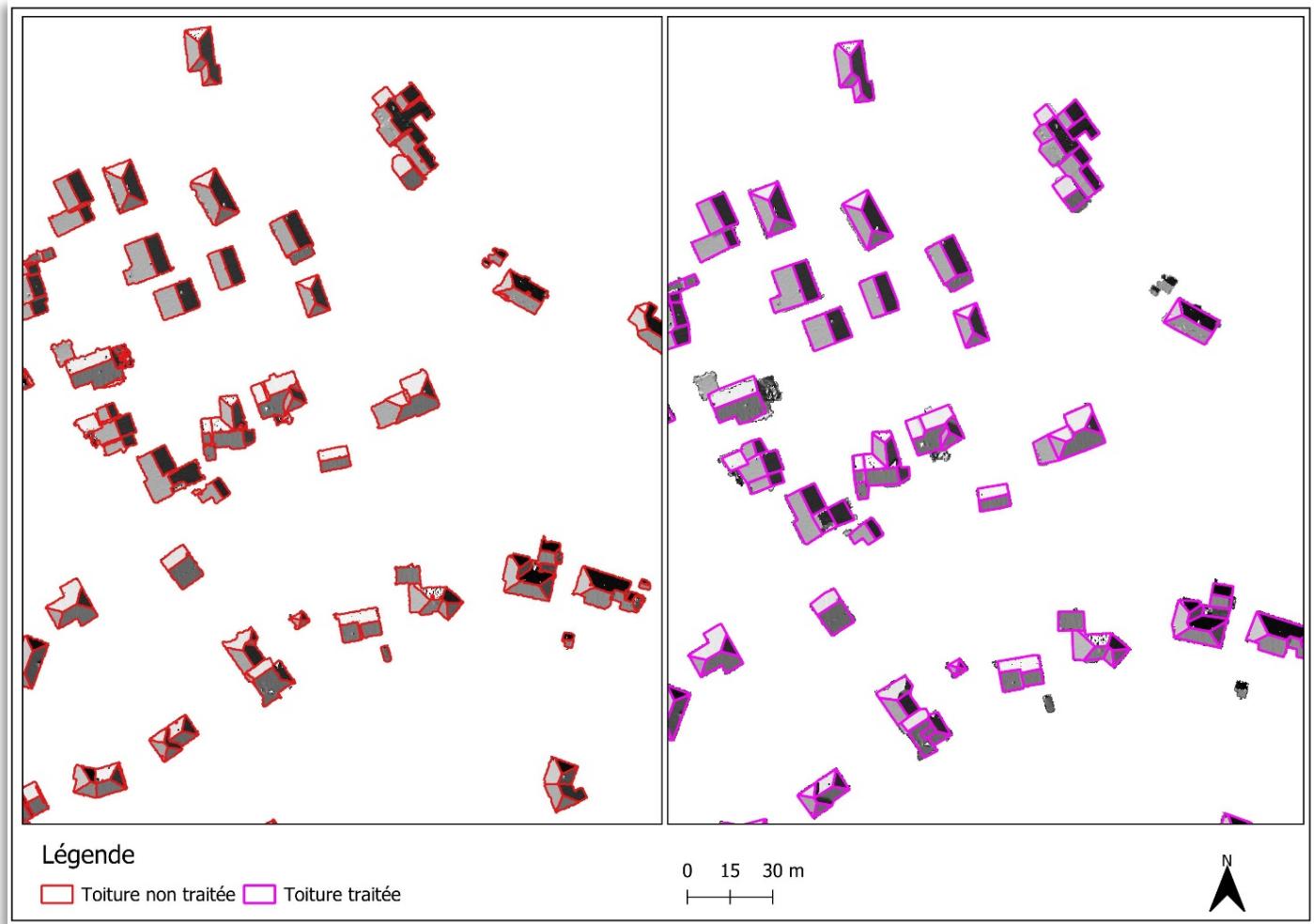
La vectorisation de la couche segmentée est le processus de conversion de données raster (basées sur des pixels) en données vectorielles (basées sur des entités géométriques polygones). Pour vectoriser un raster en vecteur dans QGIS, Raster/ conversion de/Polygoniser.



## Post traitement des géométries des toitures des bâtiments

Cette phase consiste à retravailler contours pour qu'ils soient rectilignes et conformes à leurs emprises réelles. Pour cela plusieurs traitements ont été effectués sur la couche des toitures vectorisée. Les toitures ont été fusionnées afin de former une seule. La segmentation génère des artefacts, il est donc nécessaire de réaliser des corrections topologiques afin d'obtenir une entité par pans de toitures. Ces opérations ont été réalisées à la main. D'autre part, la segmentation a également pris en compte l'emprise des bâtiments. Comme nous avons utilisé les données Lidars classées de l'IGN, l'emprise des bâtiments ne correspondait pas tout à fait à la réalité. Il a donc été nécessaire de corriger. Pour ce faire, nous avons utilisé un tampon négatif de (- 50 cm).

Nous avons découpé les pans de toiture sur la nouvelle emprise des bâtiments. Comme la segmentation a été réalisée sur un raster, le résultat n'était pas lisse (effet « escalier » de la vectorisation du raster) nous avons donc utilisé l'outil de « Grass v.generalize » afin de lisser le tracé sur l'emprise des bâtiments et sur les éléments intra-toitures.

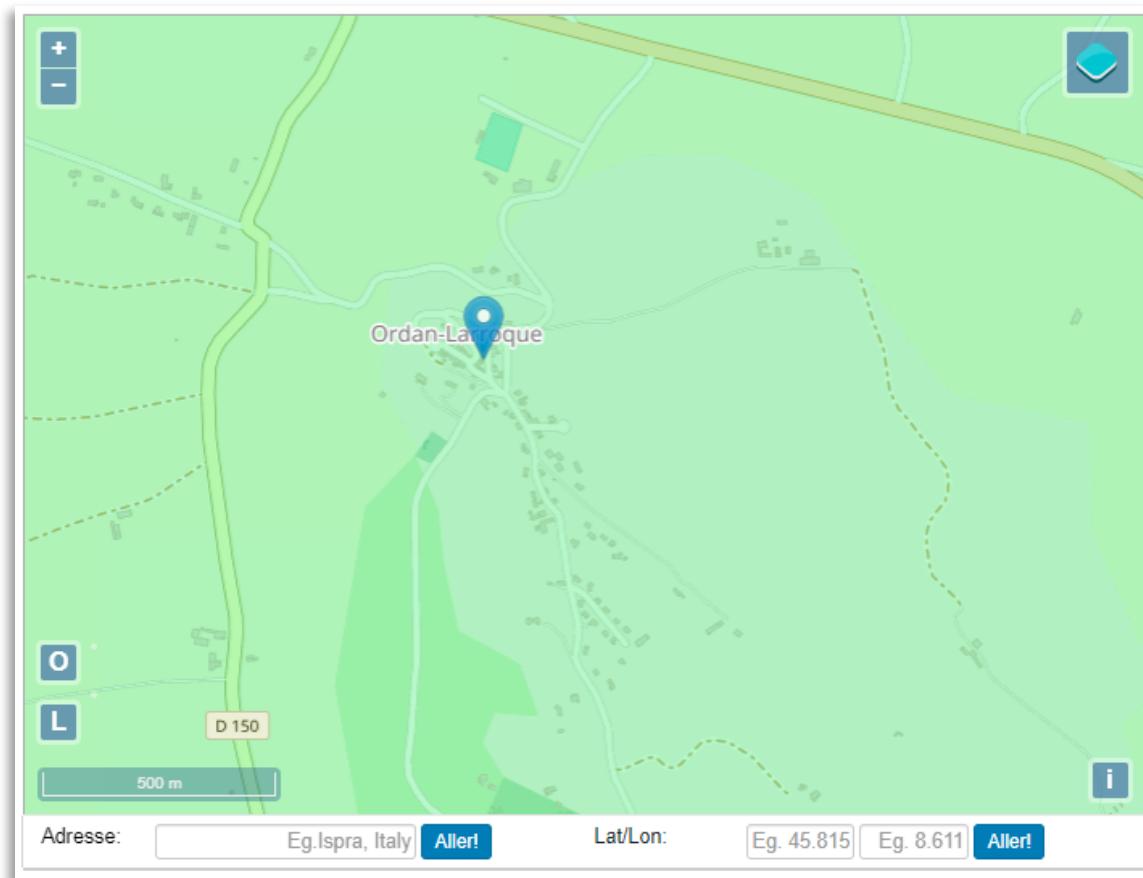


### III. Calcul du potentiel photovoltaïque

Après avoir corrigé les géométries des toitures et avoir récupéré les informations à propos de l'orientation et de l'inclinaison de chaque pan de toiture. Nous avons calculé le potentiel photovoltaïque pour les pans de toiture.

# 1. Récupération des données via PVGIS

Le potentiel photovoltaïque se réfère à la quantité d'énergie solaire qu'un système photovoltaïque peut potentiellement convertir en électricité. Ce potentiel est déterminé par divers facteurs tels que la localisation géographique, l'angle d'inclinaison des panneaux solaires, leur orientation par rapport au soleil, les conditions météorologiques locales, la saison et d'autres variables. Des outils de cartographie et de modélisation sont souvent employés pour estimer ce potentiel dans différentes régions. Parmi ces outils, PVGIS (Système d'Information Géographique Photovoltaïque) a été sélectionné pour extraire les données de radiation solaire et d'énergie photovoltaïque estimée. Pour ce faire, les valeurs de pente médiane et d'orientation médiane (exprimée en degrés sur un axe de 0 à 360 degrés) de chaque toiture des bâtiments du centre bourg d'Ordon-Larroque ont été saisies. La puissance estimée de ces systèmes est de 3 kilowatts crête (kWc), avec une perte estimée du système de 16%. Ces données constituent des paramètres essentiels pour que le logiciel puisse modéliser le potentiel énergétique des toitures. Dans le système PVGIS, l'inclinaison correspond à l'angle entre le plan des panneaux photovoltaïques et l'horizontale (c'est-à-dire le pendage des toitures), pour un montage fixe. L'angle d'orientation, ou azimut, représente l'angle des panneaux photovoltaïques par rapport à la direction sud. Sur cet axe, -90° représente l'Est, 0° le Sud et 90° l'Ouest. Ainsi, afin de respecter ce système de calibrage, 180 degrés ont été soustraits à toutes les orientations des 414 toitures.



**Cursor:**

Sélectionné: 43.687, 0.461  
Élévation (m): 176  
PVGIS ver. 5.2

**Utiliser les ombres du terrain:**

Horizon calculé  
 Télécharger fichier horizon

[Switch to version 5.1](#)

[CSV](#) [JSON](#) [Choisir un fichier](#) Aucun fichier choisi

**COUPÉ AU RÉSEAU**

**PERFORMANCE DU SYSTÈME PV COUPÉ AU RÉSEAU**

**PV SUIVEUR**

**HORS RÉSEAU**

**DONNÉES MENSUELLES**

**DONNÉES QUOTIDIENNES**

**DONNÉES HORAIRES**

**TMY**

Base de données de rayonnement solaire \*

PVGIS-SARAH2

Technologie PV\*

Silicium cristallin

Puissance PV crête installée [kWp]\*

3

Pertes du système [%]\*

16

Options montage fixe

Position de montage \*

Position libre

Inclinaison [°]\*

35

Azimut [°]\*

0

Optimiser l'inclinaison

Optimiser l'inclinaison et l'azimut

Prix de l'électricité PV

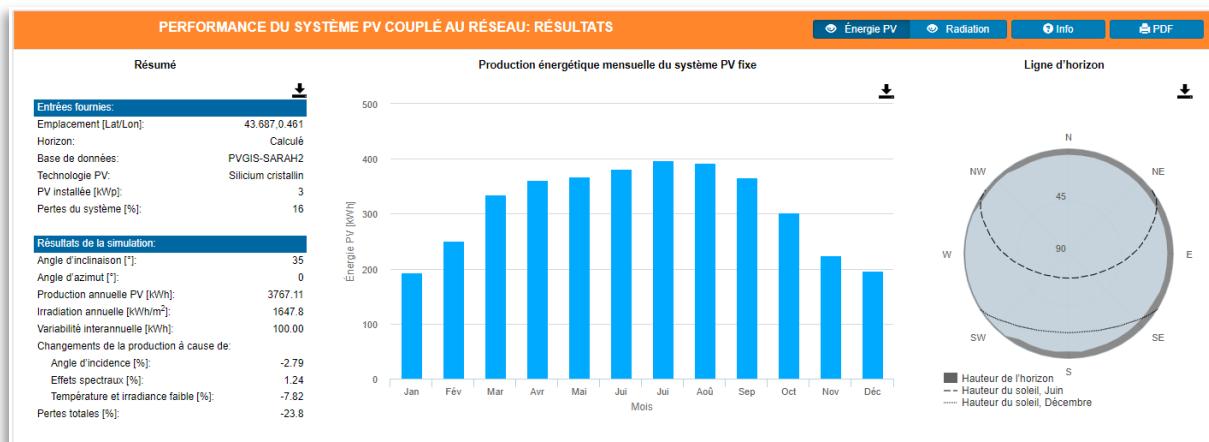
Coût du système PV [votre devise]

Intérêt [%/an]

Vie [années]

[Visualiser résultats](#)

[CSV](#) [JSON](#)

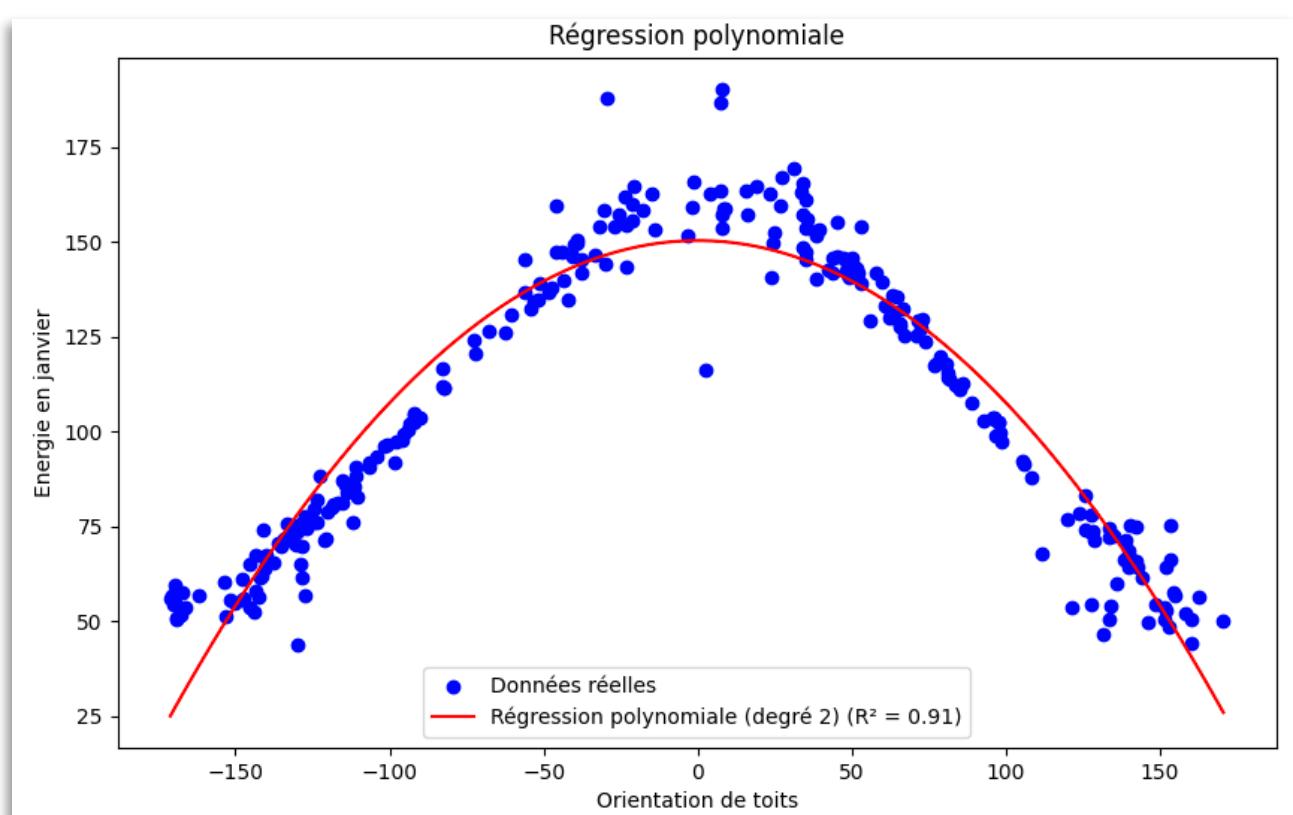


## 2. Prédiction du potentiel photovoltaïque avec un modèle

Pour obtenir des données concernant le potentiel photovoltaïque des toitures de Montégut, nous avons opté pour une méthode de prédiction de la quantité d'énergie utilisant l'intelligence artificielle. Cette approche utilise l'apprentissage automatique, implémenté à l'aide de la bibliothèque scikit-learn en Python. L'apprentissage automatique permet aux ordinateurs d'acquérir des connaissances à partir de données sans être explicitement programmés. Il repose sur l'utilisation d'algorithmes et de modèles statistiques pour détecter des schémas et prendre des décisions, tout en s'améliorant grâce à l'expérience et aux nouvelles données. Cette méthode comporte plusieurs étapes :

### Analyse bivariée

L'analyse bivariée entre la production d'énergie et l'azimut implique l'étude de la relation entre ces deux variables. On a tracé un graphique de nuage de points où l'axe horizontal représente l'azimut et l'axe vertical représente la production d'énergie. Chaque point dans le nuage de points représente une observation unique. On a examiné visuellement le nuage de points et le coefficient de détermination pour identifier toute tendance apparente entre l'azimut et la production d'énergie.

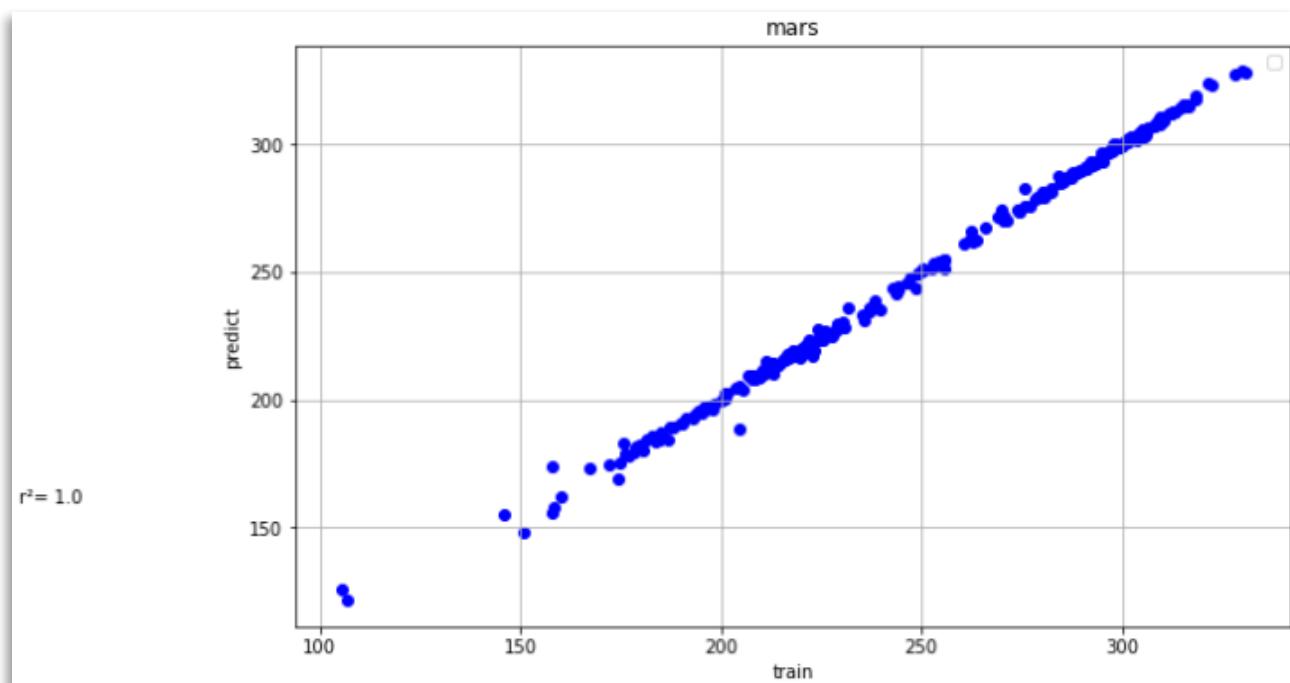


## Entraînement du modèle

L'apprentissage du modèle implique généralement de diviser les données en ensembles d'entraînement et de test pour évaluer les performances du modèle. Ainsi, on a divisé notre jeu de données d'entraînement en 70% pour apprentissage et 30% comme jeu de données test pour évaluer l'efficacité de sa prédiction. On a exploité la méthode la régression polynomiale de deuxième degré avec l'algorithme Random Forest qui consiste à utiliser un modèle de régression pour ajuster une relation non linéaire entre les variables d'entrée et de sortie. L'algorithme Random Forest est une méthode d'apprentissage supervisé utilisée à des fins de régression ou de classification.

## Évaluation du modèle

Pour évaluer la performance du modèle nécessite d'utiliser des mesures telles que l'exactitude, la précision. Dans le cadre de ce projet, le coefficient de détermination R<sup>2</sup> est choisi pour vérifier la précision du modèle qui s'élève environ à 0.99 soit 99 %.



## Déploiement du modèle

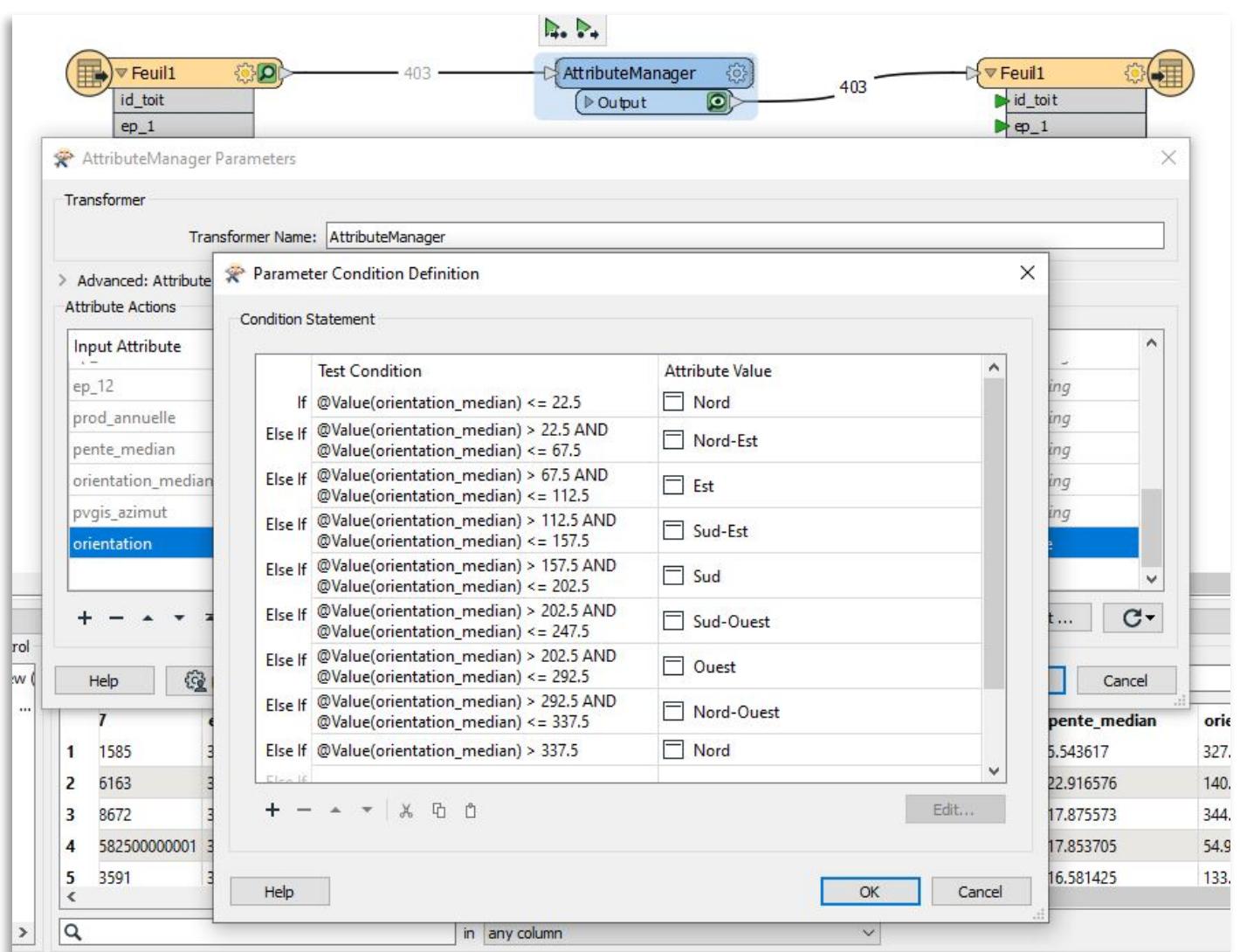
Il s'agit de mettre en œuvre le modèle entraîné dans un environnement de production pour effectuer des prédictions sur de nouvelles données. Pour obtenir le potentiel photovoltaïque du centre bourg du Montégut, on a chargé les données d'inclinaison et de l'azimut de chaque toiture de bâtiments dans le modèle. Ensuite, les productions de l'énergie estimée pour les 12 mois de l'année ont été effectuées pour toutes les toitures du centre bourg de Montégut.

## IV. Mise en place du cadastre solaire

Le cadastre solaire constitue une cartographie de l'énergie solaire reçue par chaque m<sup>2</sup> de toiture de bâtiment. La mise en place du cadastre solaire pour nos zones d'intérêts est réalisée dans ArcGIS Online notamment avec ArcGIS Dashboard. Il peut être réalisé en suivant ces étapes.

# 1. Préparation des données

Tout d'abord, on a rassemblé toutes les données pertinentes sur l'énergie solaire. On a chargé la table Excel contenant les données d'ensoleillement et de la production d'énergie estimée dans ArcGIS Pro. On a effectué la jointure attributaire entre la couche géographique Emprise toiture et le fichier Excel dont le champ de jointure est id toit. On a également ajouté des nouvelles variables comme la production annuelle, classe production et classe orientation. Classification d'orientation des toitures de Montégut a été effectuée avec FME comme illustre la figure ci-dessous.

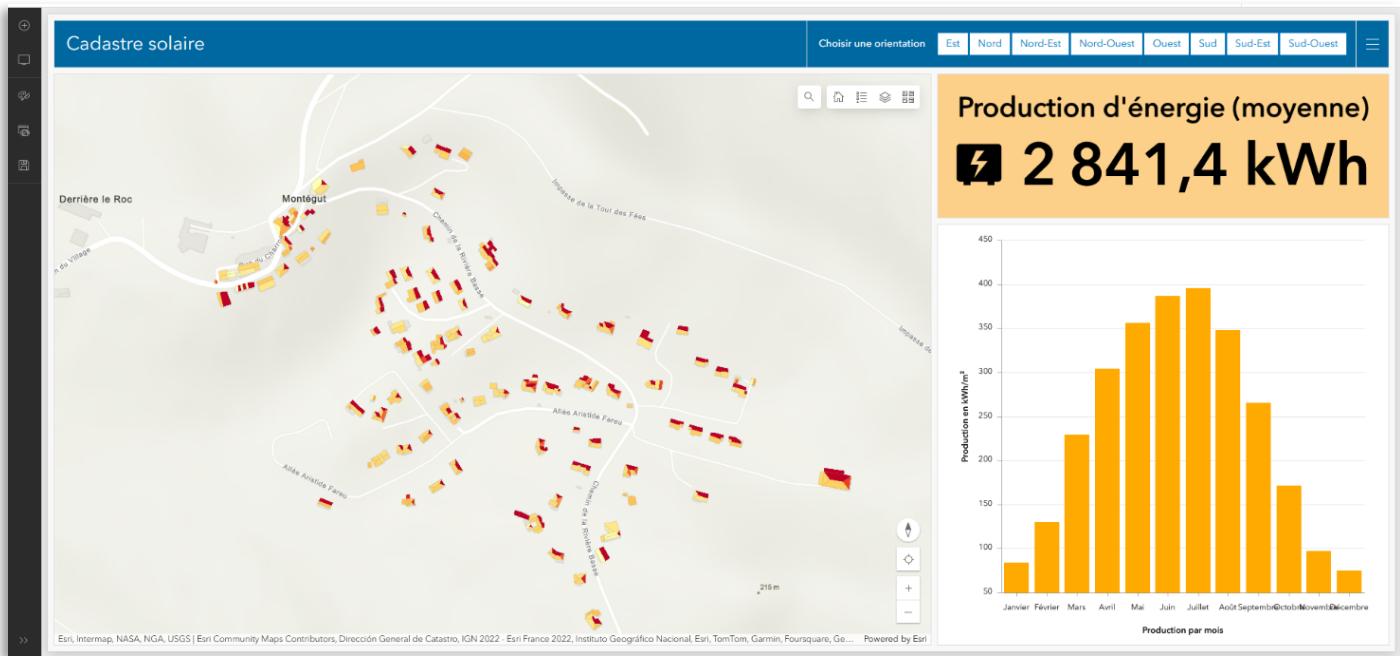


## 2. Création d'une webmap et d'un dashboard

Afin de bien visualiser et valoriser les données nous avons choisi de les intégrer dans un dashboard. Pour ce faire, nous avons utilise les outils d'ArcGIS Online. Tout d'abord, nous avons charge la couche de notre projet sur notre espace ArcGIS Online puis, à partir de cette couche, nous avons crée des webmaps. Nous avons choisi une symbologie adaptée qui représentait les différences de production entre les différents pans de toitures (du jaune (faible) au rouge (eleve)). Une fois les webmaps crees, nous les avons charges dans un dashboard. Nous avons fait le choix de réaliser un dashboard par zone d'étude afin de faciliter la lecture des informations.

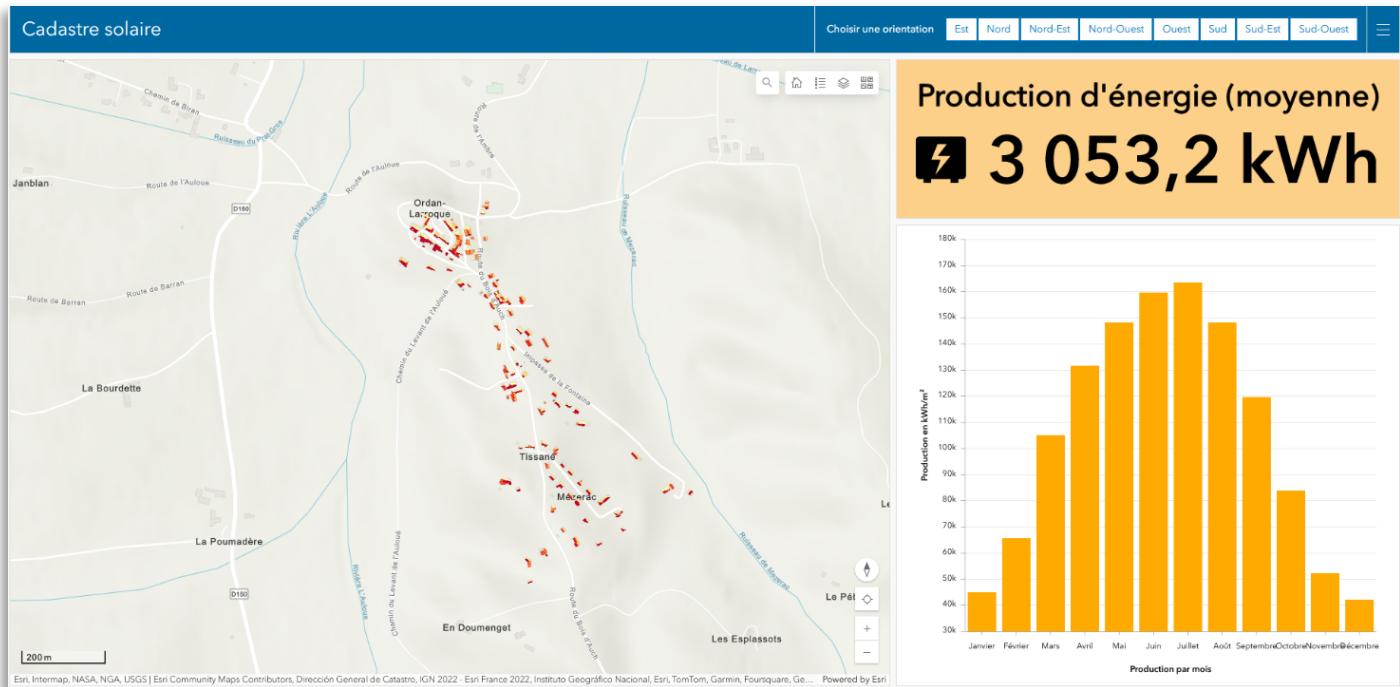
Nous avons commence par le dashboard d'Ordan-Larroque. La visualisation de l'information a été organise grâce à different moyen, tout d'abord par la création d'un indicateur montrant la production électrique totale sur l'ensemble du site. Cet indicateur s'adapte au zoom sur la carte. De plus nous avons choisi de représenter la production électrique solaire totale par mois pour l'ensemble du site sous forme de diagramme en bâton.

Pour bien visualiser la différence de production en fonction des orientations, nous avons configure un selecteur de huit orientations (Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est...). Chaque pan de toit fournit des informations dtailles lorsque l'on clique dessus. En effet, une fenêtre contextuelle s'ouvre et donne la production électrique annuelle, mensuelle, l'orientation, la pente etc. Nous avons configure le dashboard d'Ordan-Larroque de la même manière.



## Cadastre solaire de Montégut

<https://aoprestlse.maps.arcgis.com/apps/dashboards/8bc80fe2b5704cd88891b466234c780f>



## Cadastre solaire d'Ordon-Larroque

<https://aoprestlse.maps.arcgis.com/apps/dashboards/57cc981909014ac6b014e6da7a5058ad>

**L**a mise en œuvre d'une politique énergétique ambitieuse, alignée sur les orientations nationales et territoriales, s'est avérée cruciale dans la lutte contre le changement climatique. Les politiques publiques axées sur la croissance verte, la promotion des énergies renouvelables et la réduction des émissions de gaz à effet de serre ont été soutenues par des lois telles que la Loi de Transition Énergétique et la Loi Énergie Climat. Ces cadres réglementaires ont fixé des objectifs ambitieux pour augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique, tout en réduisant la dépendance au nucléaire.

L'évaluation du potentiel solaire des territoires, comme celle menée à Montégut et Ordan-Larroque, revêt une importance particulière dans cette démarche. En identifiant les emplacements les mieux exposés au rayonnement solaire et en préparant les données nécessaires à l'estimation de la production de l'énergie de

panneaux photovoltaïques, ces études méthodologiques fournissent des informations cruciales pour orienter les décisions futures en matière de politique énergétique et de développement durable.

La préparation des données, comprenant la création de modèles numériques de surface, l'analyse de la pente et de l'exposition, ainsi que l'extraction des emprises de toitures, est une étape essentielle pour évaluer le potentiel photovoltaïque. En utilisant des outils de modélisation et d'apprentissage automatique, les chercheurs ont pu estimer avec précision la production d'énergie solaire pour chaque toiture des bâtiments étudiés. La mise en place du cadastre solaire, réalisée à l'aide d'outils cartographiques en ligne, offre une visualisation détaillée du potentiel photovoltaïque, aidant ainsi à planifier efficacement le déploiement des énergies renouvelables dans ces localités et au-delà.

# Bibliographie

BINDZAROVA GERGELOVA Marcela, KUZEVICOVA Zofia, SLAVOMIR Labant, KUZEVIC Stefan, BOBIKOVA Diana et MIZAK Jozef, 2020, « Roof's Potential and Suitability for PV Systems Based on LiDAR: A Case Study of Komárno, Slovakia », Sustainability, 2 décembre 2020, vol. 12.

CENTRE D'ETUDES TECHNIQUES DE L'EQUIPEMENT MEDITERRANEE (CETE), Potentiel Solaire Note sur la méthodologie employée pour le calcul de l'insolation, s.l.

DESTHIEUX Gilles, CARNEIRO Claudio, CAMPONOVO Reto, INEICHEN Pierre, MORELLO Eugenio, BOULMIER Anthony, ABDENNADHER Nabil, DERVEY Sébastien et ELLERT

Christoph, 2018, « Solar Energy Potential Assessment on Rooftops and Facades in Large Built Environments Based on LiDAR Data, Image Processing, and Cloud Computing. Methodological Background, Application, and Validation in Geneva (Solar Cadaster) », Frontiers in Built Environment, 22 mars 2018, vol. 4.

Commission de régulation de l'énergie, Cahier des charges de l'appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'Installations de production d'électricité à partir d'énergie solaire photovoltaïque, hydroélectrique ou éolienne situées en métropole continentale, &26 pages, consulté le 8 mars 2024.

FARNSWORTH Cole, 2023, « Using GIS to estimate the Solar Power potential for rooftops within the Cleveland Park neighborhood of Washington, D.C. », 2023.

Laboratoire national de métrologie et d'essais, Mission d'évaluation du potentiel solaire photovoltaïque du patrimoine immobilier de la Région Grand Est avec intégration des données au SIG de la collectivité, 26 pages, Juillet 2020.

Jose Eduardo Fuentes, Francisco David Moya, and Oscar Danilo Montoya, Method for Estimating Solar Energy Potential Based on Photogrammetry from Unmanned Aerial Vehicles, 21 pages, December 2020.

PAVLOVIC Boban et PESIC-GEORGIADIS Milica, 2019, « The application of ArcGIS for assessing the potential of solar energy in urban area: The case of Vranje », s.l.

POTIER Valérie, CEREMA. CENTRE D'ETUDES ET D'EXPERTISE SUR LES RISQUES l'environnement, DALLIBERT Denis et LE BOURHIS Pierre, 2014, Identifier le potentiel d'installation de panneaux solaires sur toiture : Cas de l'Ille-et-Vilaine, s.l., 44 p. p.

« Les dispositions du PLUi en matière de photovoltaïque », 2017.

Segmentation — Orfeo ToolBox 9.0.0 documentation, [https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app\\_Segmentation.html?highlight=segment](https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app_Segmentation.html?highlight=segment), consulté le 8 mars 2024.

Rayonnement solaire zonal (Spatial Analyst)—ArcGIS Pro | Documentation, <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/area-solar-radiation.htm>, consulté le 8 mars 2024.

PVGIS user manual - European Commission, [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvbris/getting-started-pvbris/pvbris-user-manual\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvbris/getting-started-pvbris/pvbris-user-manual_en), consulté le 8 mars 2024.

JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/fr/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/#PVP), consulté le 8 mars 2024.

Estimer le potentiel d'énergie solaire | Learn ArcGIS, <https://learn.arcgis.com/fr/projects/estimate-solar-power-potential/>, consulté le 8 mars 2024.

## Le code python pour le modèle de prédiction d'énergie

```

Modelisation_energie.py ✘

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Created on Thu Mar 21 17:32:47 2024
4
5  @author: Projet tutoré groupe cadastre solaire
6  """
7  #
8  # Importation des bibliothèques
9  #
10 import os
11 import pandas as pd
12 import numpy as np
13 import matplotlib.pyplot as plt
14 from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
15 from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
16 from sklearn.metrics import r2_score
17 from sklearn.linear_model import LinearRegression
18 from sklearn.model_selection import train_test_split
19
20 # Définition du chemin d'accès
21 path="D:/LPGGAT/PtutGGAT/Collectif/LDHD/Montegut/prediction"
22
23 os.chdir(path) # changement du chemin de dossier
24
25 # Definition du nom de fichier energie produite Ordan larroque
26 energie_prod="energie_produite_ordan_larroque.xlsx"
27
28 # concatenation des path et du file
29 path_energie_prod=os.path.join(path,energie_prod)
30
31 # Importation de fichiers shp dans des dataframes
32 df_ml=pd.read_excel(path_energie_prod)
33
34 df_ml.info()
35 #
36 # Analyse bivariée entre energie produite et orientation de toitures
37 #
38
39 # Séparez les caractéristiques et la cible
40 X = df_ml[['orientation']].values.reshape(-1, 1)
41 y = df_ml['janvier']
42
43 # Créez une instance de transformation polynomiale
44 degree = 2 # Degré du polynôme
45 poly = PolynomialFeatures(degree)
46 X_poly = poly.fit_transform(X)
47
48 # Créez et entraînez un modèle de régression linéaire
49 model = LinearRegression()
50 model.fit(X_poly, y)
51
52 # Générez des prédictions sur une plage de valeurs X
53 X_values = np.linspace(X.min(), X.max(), 100).reshape(-1, 1)
54 X_values_poly = poly.transform(X_values)
55 y_pred = model.predict(X_values_poly)
56
57 # Calculez le coefficient de détermination R²
58 y_pred_train = model.predict(X_poly)
59 r2 = r2_score(y, y_pred_train)
60
61 # Tracez les données réelles et les prédictions
62 plt.figure(figsize=(10, 6))
63 plt.scatter(X, y, label='Données réelles', color='blue')
64 plt.plot(X_values, y_pred, color='red', label=f'Regression polynomiale (degré {degree}) (R² = {r2:.2f})')
65 plt.xlabel('Orientation de toits')
66 plt.ylabel('Energie en janvier')
67 plt.title('Régression polynomiale')
68 plt.legend()
69 plt.show()
70
71 df_ml.columns

```

```

72 #-----
73 # Apprentissage automatique du modèle
74 #-----
75 # Sélection des mois
76 colonne_mois =['janvier', 'fevrier', 'mars', 'avril', 'mai', 'juin', 'juillet', 'aout', 'septembre', 'octobre', 'novembre', 'decembre']
77
78 # Séparez vos données en variables indépendantes (X) et la variable cible (y)
79 X = df_ml.drop(colonne_mois, axis=1)
80
81 # Créez une boucle pour prédire les valeurs pour chaque mois
82 for mois in colonne_mois:
83     print("Le mois en cours de traitement:", mois)
84
85     # Isoler les valeurs pour le mois en cours
86     y = df_ml[mois]
87
88     # Diviser les données en ensembles d'entraînement et de test
89     X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.33, random_state=42)
90
91     # Créer une instance de RandomForestRegressor
92     rf_model = RandomForestRegressor(n_estimators=100, random_state=42)
93
94     # Entraîner le modèle
95     rf_model.fit(X_train, y_train)
96
97     # Prédire les valeurs sur l'ensemble d'entraînement
98     y_train_pred_rf = rf_model.predict(X_train)
99
100    # Calculer le coefficient de détermination R2 pour l'ensemble d'entraînement
101    r2_train_rf = r2_score(y_train, y_train_pred_rf)
102
103    # Tracez les données réelles et les prédictions
104    plt.figure(figsize=(10, 6))
105    plt.scatter(y_train, y_train_pred_rf, color='blue')
106    plt.xlabel('train')
107    plt.ylabel('predict')
108    plt.grid()
109    plt.text(25, 160, "r2 = " + str(round(r2_train_rf, 2)))
110    plt.title(mois)
111    plt.legend()
112    plt.show()
113
114    print("Coefficient de détermination R2 : ", round(r2_train_rf, 2))
115
116 #-----
117 # Prédictions sur les nouvelles données
118 #-----
119     # Charger les nouvelles données pour la prédiction de l'énergie produite
120     df_pred = pd.read_excel("D:/LPGGAT/PtutGGAT/Collectif/LDHD/Montegut/prediction/data_montegut.xlsx")
121
122     # Prétraiter les nouvelles données (sélectionner les mêmes caractéristiques que X et transformer)
123     X_poly_pred = df_pred[X.columns] # Garder les mêmes caractéristiques que dans X
124
125     # Prédire les valeurs sur les nouvelles données
126     y_pred = rf_model.predict(X_poly_pred)
127
128     # Ajouter les valeurs prédites à une colonne 'volum_predite' dans df_pred
129     df_pred[mois + '_pred'] = y_pred
130
131     # Enregistrement des prédictions dans un fichier Excel
132     output_filename = f"energie_pred_montegut_pred_{mois}.xlsx"
133     output_filepath = os.path.join(path, output_filename)
134     df_pred.to_excel(output_filepath, index=False)
135
136 ##### C'est fantastique la programmation #####

```