

Rapport d'Expert : Analyse Comparative des Alternatives Gratuites aux Bases de Données d'Irradiation Solaire Commerciales (HelioClim-3)

I. Introduction et Contexte Analytique

Le marché de l'énergie solaire, notamment pour la conception et l'évaluation financière des projets photovoltaïques (PV), repose fondamentalement sur l'accès à des données d'irradiation solaire historiques précises et à haute résolution. HelioClim-3 (HC3) est une base de données satellitaire reconnue et largement utilisée, mais son modèle commercial contraint les utilisateurs cherchant des alternatives libres et gratuites.

L'objectif de ce rapport est d'évaluer de manière exhaustive les principales bases de données gratuites disponibles mondialement — principalement le Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), le CAMS Radiation Service et le NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) — en les comparant aux spécifications techniques de HC3. Cette analyse vise à fournir aux ingénieurs et chercheurs une recommandation précise sur les sources de données offrant la meilleure combinaison de résolution spatiale, de fréquence temporelle, et de couverture géographique pour des études de faisabilité et d'ingénierie détaillées.

La pertinence d'une base de données est directement liée à sa capacité à fournir des estimations précises du rayonnement horizontal global (Global Horizontal Irradiance - GHI), du rayonnement direct normal (Direct Normal Irradiance - DNI), et du rayonnement diffus horizontal (Diffuse Horizontal Irradiance - DIF) sur de longues périodes. L'exactitude de ces paramètres est cruciale, car une conception efficace de systèmes PV exige des données météorologiques fiables pour simuler la puissance de sortie, tel que démontré par l'utilisation de progiciels robustes comme PVLib.¹

II. Le Référentiel Commercial : Caractéristiques et Précision d'HelioClim-3

HelioClim-3 (HC3), développé par Transvalor/Mines ParisTech, sert de point de référence pour les bases de données satellitaires commerciales dans les domaines de l'énergie solaire. L'examen de ses spécifications permet d'établir les critères minimaux de performance que les alternatives gratuites doivent satisfaire.

A. Spécifications Techniques et Méthodologie d'HC3

La base de données HC3 repose sur une approche satellitaire éprouvée, basée sur l'algorithme Heliosat-2. Cet algorithme est appliqué aux images capturées par le satellite Météosat Second Generation (MSG) SEVIRI.²

Cette dépendance au satellite MSG définit intrinsèquement la couverture géographique de HC3, qui englobe l'Europe, l'Afrique et l'ensemble du bassin Méditerranéen.² Pour les applications d'ingénierie nécessitant une modélisation détaillée, la résolution temporelle est un critère essentiel. HC3 répond à ce besoin en fournissant des données à des intervalles aussi courts que 15 minutes, et la base est mise à jour quotidiennement, assurant un service opérationnel pour la surveillance en temps réel ou les prévisions à court terme.² Cette haute fréquence sub-horaire est particulièrement recherchée par les utilisateurs pour évaluer la variabilité de la ressource et l'impact sur les onduleurs ou les systèmes de stockage d'énergie.

B. Exigences de Qualité et Limitations Scientifiques

Bien que HC3 soit un produit commercial de référence, les études de validation scientifique ont mis en lumière certaines limites et la nécessité d'une correction externe pour atteindre une fiabilité optimale. Par exemple, il a été observé que les estimations HC3 peuvent être sous-estimées, en particulier sous des conditions de ciel clair.⁴

Une étude de 2014 recommandait une correction systématique de la version HC3v3 à l'aide des données issues de la méthode *clear-sky* McClear.⁴ Cette observation est fondamentale : l'efficacité technique d'une base de données commerciale de premier plan est renforcée par l'application d'un modèle d'atmosphère claire gratuit (McClear). De plus, l'utilisation de

facteurs climatologiques généralistes, tels que le facteur de turbidité de Linke, pour résumer les effets atmosphériques, peut induire des lacunes dans la capture des changements simultanés de variables, affectant potentiellement la précision de l'irradiation estimée par les modèles sous-jacents.⁴

Le fait qu'une base de données payante nécessite une validation ou une correction externe de cette nature indique que l'utilisateur, en cherchant une alternative gratuite, devrait privilégier les services qui intègrent directement ou fournissent gratuitement ces modèles de correction atmosphérique avancés (comme le fait le service CAMS, abordé plus loin). La résolution temporelle de 15 minutes d'HC3² représente ainsi l'étalon-or fonctionnel pour les alternatives gratuites dans la modélisation PV détaillée.

III. Alternative Principale 1 : PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)

Développé et maintenu par le Centre Commun de Recherche (JRC) de la Commission Européenne, PVGIS est l'outil le plus complet et le plus accessible pour les ingénieurs PV recherchant une alternative gratuite et fonctionnelle à HC3, en particulier en Europe et dans le bassin méditerranéen.

A. Accès, Produits et Fonctionnalités Clés

PVGIS est un système d'information géographique dédié à la simulation précise de la production photovoltaïque mondiale.⁵ Son accessibilité est totale et gratuite.⁶ Il ne se contente pas de fournir des données brutes, mais intègre des outils d'optimisation permettant de simuler différentes configurations techniques, telles que l'orientation ou l'inclinaison des panneaux, en vue d'un rendement optimal.⁵

Un avantage fonctionnel critique de PVGIS pour l'ingénierie et la bancabilité des projets PV est sa capacité à générer des données d'Année Météorologique Typique (TMY).⁶ Les données TMY sont la norme industrielle (P50) pour la modélisation des performances à long terme. PVGIS fournit ces données sous forme de séries temporelles horaires complètes pour une année, incluant non seulement le G(h), Gb(n), et Gd(h), mais aussi la température de l'air (T2m), l'humidité relative (RH), la vitesse et la direction du vent (WS10m, WD10m) et la pression atmosphérique (SP).⁷ La disponibilité d'un générateur TMY intégré et gratuit, basé

sur des données satellitaires de haute résolution, positionne PVGIS comme un excellent point de départ pratique pour l'ingénieur solaire.

B. Les Bases de Données Internes PVGIS : SARAH3 et ERA5

PVGIS agit comme un portail qui consolide plusieurs sources de données, offrant un choix entre la haute résolution satellitaire limitée en zone et la couverture mondiale par réanalyse.

1. PVGIS-SARAH3 : La Haute Résolution Satellitaire

Pour les projets situés dans la zone de couverture du satellite Meteosat (Europe, Afrique, Moyen-Orient), PVGIS s'appuie principalement sur la base de données PVGIS-SARAH3. Cette source est dérivée des enregistrements de rayonnement solaire SARAH du CM SAF (Satellite Application Facility pour la Surveillance du Climat d'EUMETSAT).⁸

La résolution spatiale de PVGIS-SARAH3 est de $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$, ce qui correspond à environ 5 km.¹⁰ Cette résolution spatiale est très compétitive, rivalisant directement avec celle d'HelioClim-3 (1-3 km) et offrant une fidélité spatiale élevée, essentielle pour les analyses locales où la topographie ou les effets de nébulosité microclimatique jouent un rôle. Les données sont fournies en séries temporelles horaires.⁶

2. PVGIS-ERA5 : La Couverture Mondiale par Réanalyse

Pour les régions non couvertes par les satellites géostationnaires ou pour les hautes latitudes (où les données satellitaires peuvent être moins fiables), PVGIS propose la base de données PVGIS-ERA5. Cette source est un produit de réanalyse généré par le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (ECMWF).¹⁰

Le principal inconvénient d'ERA5 réside dans sa résolution spatiale plus grossière, fixée à $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, soit environ 25 km.¹⁰ Bien que moins précise localement que SARAH3, ERA5 offre une couverture mondiale complète à une résolution temporelle horaire.¹⁰ Pour les projets en Europe, SARAH3 est la meilleure alternative à HC3. ERA5 est un choix de secours permettant d'assurer la continuité des données à l'échelle globale.

IV. Alternative Haute Précision 2 : CAMS Radiation Service (Copernicus)

Le service de rayonnement du Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) est l'alternative gratuite la plus rigoureuse d'un point de vue scientifique et de haute fréquence temporelle. Il est souvent considéré comme le véritable rival technique de HC3, intégrant des méthodologies très avancées.

A. Accès et Méthodologies de Pointe

Les données du CAMS Radiation Service sont mises à disposition gratuitement via l'Atmosphere Data Store (ADS) de Copernicus.¹¹ Ce service propose des données pour les conditions de ciel clair (*clear-sky*) et de ciel couvert (*all-sky*).¹²

Contrairement à HC3 qui utilise Heliosat-2², CAMS utilise des algorithmes plus récents et potentiellement plus robustes, notamment les méthodes Heliosat-4 et APOLLO_NG pour le calcul de l'irradiation *all-sky*.¹²

B. Spécifications de Haute Résolution et Intégration McClear

CAMS excelle par la finesse de sa résolution, en particulier sur le plan temporel, répondant directement à la nécessité de données sub-horaires de HC3.

1. CRS-GRID (All-sky et Clear-sky)

Pour le rayonnement *all-sky* et *clear-sky* sur grille (CRS-GRID), la résolution spatiale est établie à 0.1° en latitude et longitude, ce qui correspond à environ 10 km.¹² Cette résolution est excellente et se positionne entre PVGIS-SARAH3 (5 km) et PVGIS-ERA5 (25 km).

La résolution temporelle est de 15 minutes.¹² Le fait que CAMS fournisse des données *all-sky* à 15 minutes de manière gratuite et mondiale correspond directement à la granularité des données de HC3.² La couverture temporelle pour ce produit s'étend généralement de 2005 à la fin de 2023.¹²

2. CRS-TIME (Clear-sky/McClear)

Le service CAMS offre une fonctionnalité unique : le modèle *clear-sky* basé sur la méthode McClear (CRS-TIME). Ce produit fournit une résolution temporelle pouvant atteindre 1 minute, agrégée également à 15 minutes, 1 heure, 1 jour ou 1 mois.¹²

L'accès à des données *clear-sky* en 1 minute est fondamental pour la recherche avancée, notamment pour l'analyse des transitoires rapides de la production PV ou pour la modélisation de la performance dans des conditions atmosphériques stables.¹² De plus, puisque les études ont recommandé la correction de HC3v3 par McClear⁴, le fait que CAMS fournit ce modèle (McClear) gratuitement et à l'échelle globale valide l'approche du service CAMS comme étant la plus avancée techniquement pour les conditions atmosphériques idéales.

C. Contraintes d'Accès

Bien que les données CAMS soient gratuites, l'accès se fait via l'Atmosphere Data Store (ADS), ce qui impose des limitations opérationnelles. Le nombre de requêtes est limité à 100 par jour.¹² Cela signifie que CAMS est plus adapté aux utilisateurs ayant des besoins de téléchargement en bloc via API ou des besoins de recherche structurés, plutôt qu'à une utilisation "plug-and-play" répétitive comme le permet l'interface web de PVGIS.

V. Alternative Globale 3 : NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources)

Le projet NASA POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources), géré par le Langley Research Center (LARC), est conçu pour fournir des données solaires et météorologiques

mondiales aux communautés des énergies renouvelables (RE), de l'infrastructure durable (SB) et de l'agroclimatologie (AG).¹³

A. Sources et Structure des Données

Les paramètres fournis par POWER sont dérivés d'observations satellitaires pour le solaire et de modèles d'assimilation pour la météorologie.¹³ Les sources primaires incluent le réseau CERES SYN1deg pour l'irradiation solaire et le modèle GMAO MERRA-2 pour les données météorologiques.¹⁴

Les données sont disponibles en séries temporelles horaires, quotidiennes, mensuelles, annuelles et climatologiques, accessibles via le Data Access Viewer (DAV) ou par API.¹³ La base propose un dictionnaire très vaste de paramètres météorologiques couplés au solaire, ce qui la rend précieuse pour les études nécessitant des intrants multiples (par exemple, pour la modélisation des pertes dues à la température).¹³

B. La Limite Critique de la Résolution Spatiale

Le facteur limitant le plus important de NASA POWER pour l'ingénierie PV détaillée est sa résolution spatiale native. Les données solaires sont fournies sur une grille globale de 1° latitude/longitude.¹⁴

Une résolution de 1° représente une zone d'environ 100 km par 100 km. Cette granularité est significativement inférieure à celle de HC3 (1-3 km), PVGIS-SARAH3 (5 km), et CAMS (10 km). Une telle faible résolution spatiale induit nécessairement un fort lissage des effets locaux, comme la topographie, les effets côtiers, ou la nébulosité localisée.

Des études comparatives ont montré que les bases de données basées sur des grilles très larges (comme NASA POWER/NASA-SSE) présentent souvent des biais et des erreurs quadratiques moyennes (RMSD) plus importants lorsqu'elles sont comparées aux mesures au sol, en particulier par rapport aux bases de données à haute résolution spatiale.¹ Pour les projets PV nécessitant un faible Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pour la bancabilité, l'utilisation d'une résolution de 100 km introduit une incertitude inacceptable. Par conséquent, NASA POWER est plus adapté aux études de pré-faisabilité à l'échelle mondiale ou aux analyses macro-régionales où l'homogénéité des données est privilégiée par rapport à la

précision ponctuelle.¹³

VI. Synthèse Comparative Technique Approfondie

Pour déterminer l'alternative la plus appropriée, une comparaison directe des spécifications et des capacités fonctionnelles s'impose.

A. Matrice Comparative des Spécifications Techniques

L'analyse des spécifications révèle des compromis clairs entre la haute résolution spatiale (HC3, PVGIS-SARAH3) et la couverture mondiale (NASA POWER). La base CAMS offre un équilibre de haute résolution spatiale et temporelle, en plus d'une méthodologie de pointe.

Tableau 1 : Comparaison Technique des Principales Bases de Données d'Irradiation Solaire

Base de Données	Statut d'Accès	Résolution Spatiale (typique)	Résolution Temporelle Maximale	Couverture Géographique	Méthode Principale
HelioClim-3 (HC3)	Payant (Commercial)	1-3 km (Variable)	15 minutes	Europe, Afrique, Méditerranée	Satellite (Heliosat-2)
PVGIS-SARAH3	Gratuit (CE/JRC)	~5 km (0.05°)	Horaire (Séries complètes)	Europe, Afrique, Moyen-Orient	Satellite (CM SAF)
PVGIS-ERA5	Gratuit (CE/JRC)	~25 km (0.25°)	Horaire (Séries complètes)	Mondiale (Haute Latitudes incluses)	Réanalyse (ECMWF)

NASA POWER	Gratuit (NASA/LARC)	~100 km (1° x 1°)	Horaire/Quotidien	Mondiale	Modèles d'assimilation (CERES)
CAMS CRS-GRID	Gratuit (Copernicus)	~10 km (0.1°)	15 minutes	Mondiale	Satellite (Heliosat-4, APOLLO_NG)
CAMS CRS-TIME	Gratuit (Copernicus)	Interpolée au point	1 minute (Clear-sky)	Mondiale	McClear

B. Disponibilité des Composantes du Rayonnement et des Données Météorologiques

Pour la modélisation PV, il est essentiel d'obtenir le GHI, le DNI et le DIF, ainsi que les données météorologiques complémentaires (température, vent) pour calculer les pertes du système.

Tableau 2 : Disponibilité des Composantes d'Irradiation et Météorologiques

Base de Données	Rayonnement Horizontal Global (GHI)	Rayonnement Direct Normal (DNI)	Rayonnement Diffus Horizontal (DIF)	TMY Disponible	Données Météo Complémentaires
PVGIS (SARAH/ERA5)	Oui ⁷	Oui ⁷	Oui ⁷	Oui (Générateur Intégré) ⁷	T2m, RH, Vent (10m) ⁷
NASA POWER	Oui (GHI)	Oui (DNI)	Oui (DIF)	Non (Moyennes climatologiques)	Vaste gamme (Température, Vent,

					Pression) ¹³
CAMS Radiation Service	Oui (All-sky) ¹²	Oui (All-sky/Clear-sky) ¹²	Oui (All-sky/Clear-sky) ¹²	Non	Non (Focus Atmosphérique/Solaire)

C. Évaluation de la Précision et Implication pour la Bancabilité

Les études de validation indépendantes, telles que celles menées sous l'égide de l'IEA SHC Task 36, ont établi que les modèles satellitaires à haute résolution (comme HC3 ou PVGIS-CM SAF) surpassent généralement les produits de réanalyse à très faible résolution (comme NASA POWER/MERRA-2) en termes de précision locale.¹⁵

Le besoin de HC3 pour des données à 15 minutes démontre que l'utilisateur privilégie la haute fréquence pour capturer la dynamique solaire. CAMS et PVGIS-SARAH3 sont les seuls services gratuits qui rivalisent en termes de fidélité spatiale (5-10 km) et temporelle (15 min/heure).

L'analyse démontre que l'architecture de PVGIS, qui fournit le TMY gratuit basé sur des données SARAH3 de ~5 km, représente le meilleur compromis fonctionnel entre qualité technique et facilité d'utilisation pour les simulations P50/P90. Cependant, pour une validation scientifique rigoureuse ou pour des études nécessitant une granularité extrême, CAMS, avec son offre de données *clear-sky* à 1 minute et l'intégration des méthodes Heliosat-4 et McClear ¹², se positionne comme l'alternative la plus avancée d'un point de vue méthodologique.

VII. Données Nationales et Régionales (Focus France)

Bien que les solutions paneuropéennes et mondiales (PVGIS, CAMS) soient préférables pour l'ingénierie PV standardisée en raison de leur haute résolution et de leur complétude, il existe des données nationales disponibles, principalement en France via Météo-France.

A. Disponibilité des Données Météo-France

Météo-France met à disposition certaines données dans le cadre de ses missions de service public, dont une partie est accessible gratuitement via le Portail des données publiques (data.gouv.fr).¹⁶

Des jeux de données, tels que le "Rayonnement solaire global et vitesse du vent à 100 mètres tri-horaires régionaux," sont disponibles depuis janvier 2016.¹⁷ Ces données peuvent servir de source secondaire ou de validation pour les analyses régionales.¹⁸

B. Inadéquation pour la Modélisation PV Détaillée

La limitation majeure des données nationales gratuites réside dans leur résolution temporelle. Les données d'irradiation de Météo-France sont souvent tri-horaires (toutes les trois heures).¹⁷

Cette fréquence est largement insuffisante pour les exigences de l'ingénierie PV moderne, qui nécessite au minimum une résolution horaire, voire 15 minutes, pour modéliser précisément la performance des systèmes (effets de *ramping*, comportement des onduleurs). La dépendance à une résolution tri-horaire rend ces jeux de données inadéquats pour les calculs de rendement précis et justifie la nécessité de recourir aux bases de données supranationales (PVGIS et CAMS) qui respectent les normes de granularité industrielle.

VIII. Conclusions et Recommandations Stratégiques

La recherche d'une alternative gratuite à HelioClim-3 exige de naviguer entre le besoin d'une haute résolution spatiale, la nécessité d'une haute fréquence temporelle (15 minutes ou moins), et la disponibilité des outils pratiques (comme le TMY).

A. Recommandation Prioritaire pour l'Ingénierie Pratique (Europe/Afrique)

Pour un usage standard en ingénierie PV (études de faisabilité, simulations P50), la

recommandation prioritaire est :

Choix : PVGIS (avec la base de données SARAH3)

- **Justification :** PVGIS offre la meilleure combinaison de haute résolution spatiale (~5 km) et d'accessibilité fonctionnelle. Il intègre gratuitement le générateur d'Année Météorologique Typique (TMY), un outil indispensable pour la conception bancable, en s'appuyant sur les données satellites CM SAF (SARAH3).⁶ Il fournit toutes les composantes d'irradiation et les données météorologiques essentielles (température, vent) en séries horaires.⁷

B. Recommandation Technique Avancée (Haute Fréquence et Rigoureuse)

Pour les analyses nécessitant la plus haute résolution temporelle ou une validation scientifique approfondie (recherche, modélisation dynamique avancée, ou validation des données commerciales), l'option privilégiée est :

Choix : CAMS Radiation Service (CRS-GRID et CRS-TIME)

- **Justification :** CAMS est le rival technique le plus direct d'HC3. Il propose gratuitement des données *all-sky* à 15 minutes et des données *clear-sky* (McClear) à 1 minute.¹² Il utilise des méthodologies de pointe (Heliosat-4), assurant une haute précision. La résolution spatiale de \$0.1^\circ\$ (~10 km) est excellente et la couverture est mondiale. Bien que l'accès via l'ADS puisse être plus technique et soumis à une limite de requêtes (100 par jour)¹², il est la source la plus sophistiquée pour les utilisateurs cherchant à surpasser ou à valider la précision d'HC3.

C. Recommandation pour la Couverture Mondiale ou la Pré-faisabilité

Pour les projets situés hors de la couverture de PVGIS-SARAH3 (ex : Amériques, Asie) ou nécessitant une vue globale :

Choix : PVGIS-ERA5.

- **Justification :** Il est préférable d'utiliser PVGIS-ERA5 (résolution spatiale de 25 km) plutôt que NASA POWER (résolution de 100 km).¹⁰ Bien que la résolution d'ERA5 soit plus faible que celle de SARAH3, elle reste quatre fois meilleure que celle de NASA POWER

pour la modélisation locale.¹⁰ NASA POWER doit être réservé aux études de très haut niveau ou à l'agroclimatologie, en raison de l'incertitude locale élevée induite par sa très faible résolution spatiale.¹

Sources des citations

1. Solar Irradiance Database Comparison for PV System Design: A Case Study, consulté le novembre 8, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/382673638_Solar_Irradiance_Database_Comparison_for_PV_System_Design_A_Case_Stud
2. Summary Helioclim | PDF | Applied And Interdisciplinary Physics | Nature - Scribd, consulté le novembre 8, 2025,
<https://fr.scribd.com/document/167566241/Summary-Helioclim>
3. Validation of the new HelioClim-3 version 4 real-time and short-term forecast service using 14 BSRN stations - ASR, consulté le novembre 8, 2025,
<https://asr.copernicus.org/articles/13/129/2016/asr-13-129-2016-relations.html>
4. Improving HelioClim-3 estimates of surface solar irradiance using the McClear clear-sky model and recent advances in - AMT, consulté le novembre 8, 2025,
<https://amt.copernicus.org/articles/7/3927/2014/amt-7-3927-2014.pdf>
5. Guide complet PVGIS - pvgis.com, consulté le novembre 8, 2025,
<https://pvgis.com/fr/guide-complet-pvgis>
6. PVGIS | INES - Institut National de l'Énergie Solaire, consulté le novembre 8, 2025,
<https://www.ines-solaire.org/outils-et-liens-utiles/ressources/pvgis/>
7. PVGIS typical meteorological year (TMY) generator - The Joint ..., consulté le novembre 8, 2025,
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/pvgis-tools/pvgis-typical-meteorological-year-tmy-generator_en
8. SARAH Solar Radiation - pvgis.com, consulté le novembre 8, 2025,
<https://pvgis.com/en/sarah-solar-radiation>
9. Other sources - The Joint Research Centre - EU Science Hub, consulté le novembre 8, 2025,
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/other-sources_en
10. PVGIS user manual - The Joint Research Centre: EU Science Hub, consulté le novembre 8, 2025,
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis/getting-started-pvgis/pvgis-user-manual_en
11. Data - Copernicus Atmosphere Monitoring Service, consulté le novembre 8, 2025, <https://atmosphere.copernicus.eu/data>
12. CAMS solar radiation time-series: data documentation - ECMWF Confluence Wiki, consulté le novembre 8, 2025, <https://confluence.ecmwf.int/x/jOLjDw>
13. Parameters - NASA POWER | Docs, consulté le novembre 8, 2025,
<https://power.larc.nasa.gov/docs/tutorials/parameters/>
14. Docs | Methodology | Data Sources - NASA POWER, consulté le novembre 8, 2025, <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/data/sources/>

15. Independent comparisons of solar irradiance models - Solargis, consulté le novembre 8, 2025,
<https://kb.solargis.com/docs/independent-comparisons-of-solar-irradiance-models>
16. Météo-France - Data gouv, consulté le novembre 8, 2025,
<https://www.data.gouv.fr/organizations/meteo-france/>
17. Rayonnement solaire global et vitesse du vent à 100 mètres tri-horaires régionaux (depuis janvier 2016) - Data gouv, consulté le novembre 8, 2025,
<https://www.data.gouv.fr/datasets/rayonnement-solaire-global-et-vitesse-du-vent-a-100-metres-tri-horaires-regionaux-depuis-janvier-2016/>
18. Rayonnement solaire global et vitesse du vent à 100 mètres tri-horaires régionaux (depuis janvier 2016), consulté le novembre 8, 2025,
<https://odre.opendatasoft.com/explore/dataset/rayonnement-solaire-vitesse-vent-tri-horaires-regionaux/table/>