

Solaire en Horo
ASSOCIATION Hauts-de-France

2005
20 ans
2025

Jeudi 11 septembre 2025
à Lille

Regards d'expert.e.s

Quel avenir pour le photovoltaïque dans le mix électrique français et européen ?

Avec les interventions d'expert.e.s

- Yves Marignac
NegaWatt
- Barbara Nicoloso
Virage Energie
- Thomas Roillet, Daniel Marin
ENSAM, L2EP
- Benjamin Wilkin
Énergie commune (Belgique)
- Julien Courtel
Enercoop

SOLAIRE EN HORO
ASSOCIATION Hauts-de-France

MEL
MÉTROPOLE

SOLIS
MÉTROPOLE • COOP

enercoop
L'énergie militante

ENERGIE COMMUNE
Renouvelable, juste & solidaire

energ'nergie

L2EP
ASSOCIATION NÉGA WATT
L'Énergie pour tous

Arts et Métiers



agir
sobriété, coopération, liens

pédagogie
Hauts-de-France, proximité, efficacité

énergie solaire
informer

transition

« Développer l'énergie solaire et l'implication citoyenne dans la transition énergétique »



Mot d'accueil

François Xavier Callens – Président de l'association Solaire en Nord
Catherine Davy – Directrice de l'ENSA M Lille

agir
sobriété
coopération
liens
pédagogie
Hauts-de-France
proximité
énergie solaire
efficacité
transition
informer

Neutralité carbone en 2050,
la France est-elle en retard
dans sa trajectoire de
déploiement de
l'énergie solaire?

Les prix négatifs de
l'électricité sont-ils
une fatalité ?

Existe-t-il des
solutions de stockage
de l'électricité à faible
impact
environnemental ?

Sur inscription (QR code et lien au dos)

11 septembre 2025

ENSA M Lille

8 boulevard Louis XIV

Parking rue XX à X min

Métro station Lille Grand Palais à 5 min

Plan

8 h 30 à 9 h - Galerie d'honneur
accueil café

9 h à 9 h 15 - Amphithéâtre Tresca

Mot d'accueil : Solaire en Nord et ENSAM

9 h 15 à 10 h 15 - Amphithéâtre Tresca

Regard d'experts

Quelle trajectoire énergétique et quels enjeux pour le déploiement de l'énergie solaire dans le mix énergétique et électrique français ?

Dans un contexte réglementaire 2025 en repli il est bien de prendre un peu de recul sur la politique énergétique qui se dessine, les enjeux du déploiement de la sobriété, de l'efficacité et des énergies renouvelables pour répondre aux défis environnementaux et climatiques. Deux experts témoigneront à partir de travaux prospectifs à l'échelle régionale, nationale et européenne.

Avec



Yves Marignac, expert énergie et nucléaire, porte-parole de négaWatt

Barbara Nicoloso, directrice de l'association Virage Énergie

Regards d'experts

Quel avenir pour le photovoltaïque dans le mix électrique français et européen ?



10 h 15 à 10 h 30 - Galerie d'honneur
pause-café



10 h 30 à 11 h 30 - Amphithéâtre Tresca
session 1 - Témoignages

Les aspects réglementaires et organisationnels du marché de l'électricité, son équilibrage et les modalités de déploiement du solaire dans le mix électrique en France et en Belgique.

Depuis l'ouverture à la concurrence du marché de l'électricité en Europe et le développement massif de l'énergie solaire dans le mix électrique, les nouveaux producteurs bousculent l'écosystème des acteurs historiques. L'équilibrage, l'organisation tarifaire et le cadre réglementaire de soutien au déploiement de l'énergie solaire soulèvent autant de questions techniques que organisationnelles et sociétales. Deux témoignages croisés d'acteurs engagés en Belgique et en France nous permettront de mieux comprendre les enjeux et les solutions à mettre en place individuellement et collectivement.

Avec

Julien Courtel, chargé du discours énergie, pôle énergie, Enercoop



Benjamin Wilkin, directeur de l'association Belge Énergie commune et expert en énergie solaire et éolien



11 h 30 à 12 h 30 - Amphithéâtre Tresca

session 2 - Conférence

Les innovations

techniques et technologiques dédiées à l'optimisation de l'autoconsommation et au stockage de l'électricité.

Quels sont les freins et les perspectives du stockage de l'énergie ? Et quel est leur impact environnemental ?

Un tour d'horizon des technologies les plus avancées vous sera présentée par deux enseignants chercheurs afin d'optimiser l'autoconsommation à l'échelle individuelle ou collective : comportement des « auto-producteurs », stockage, monitoring, smart grid, mobilité électrique, pilotage, Vehicle-To-Grid (V2G) ...

Avec

Thomas Roillet, ingénieur d'études, Expert Smart City/SmartGrid – Mobilité électrique et efficacité énergétique



L2EP

Arts et Métiers

Daniel Marin Ingénieur de Recherches, Expert Smart City/SmartGrid – Mobilité Électrique et Efficacité Énergétique (AMVALOR)
Ecole d'Arts et Métiers (ENSA M), Laboratoire L2EP

12 h 30 à 14 h - Galerie et cour d'honneur

Temps festif et convivial

Village des partenaires (entreprises, associations, coopératives et collectivités)

Stand cuisine solaire « low tech », démonstration d'équipements Buffet partagé

14 h à 16 h 30 - Lille

3 Visites découvertes

Le projet solaire citoyen du Bazaar St-So, Centrale au sol d'Enercoop Hauts-de-France, Le site démonstrateur solaire de l'ENSA M





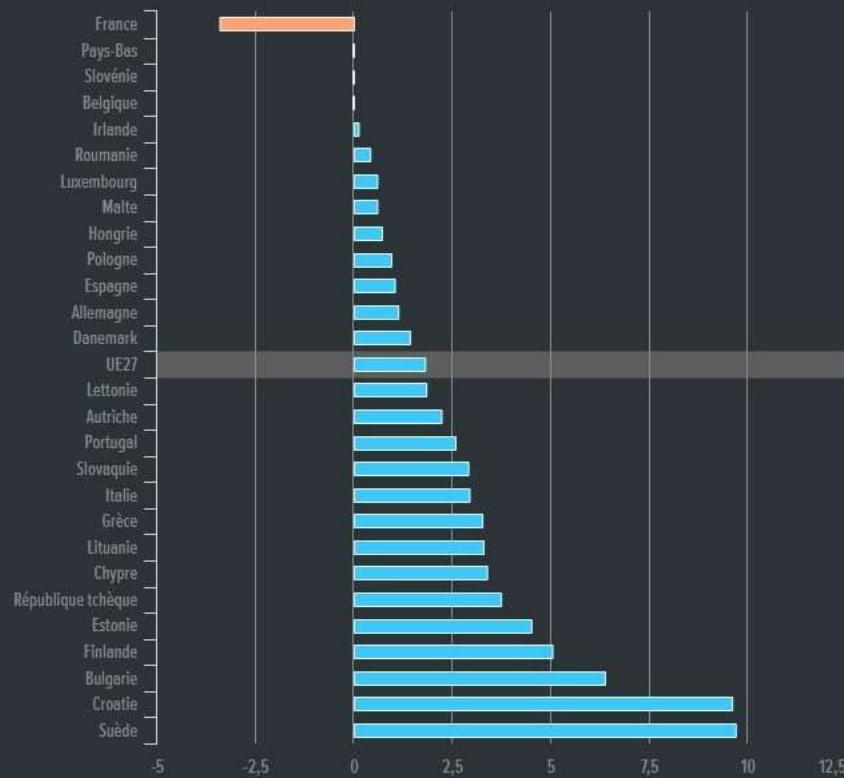
Regards d'experts

Quelle trajectoire énergétique et quels enjeux pour le déploiement de l'énergie solaire dans le mix énergétique et électrique français ?

agir
sobriété
coopération
liens
pédagogie
Hauts-de-France
énergie solaire
transition
proximité
efficacité
informer

La France, seul pays d'Europe à ne pas avoir atteint ses objectifs d'énergies renouvelables

Niveau atteint en 2020 par rapport à l'objectif d'énergie renouvelable édicté en 2009, écart en points de pourcentage

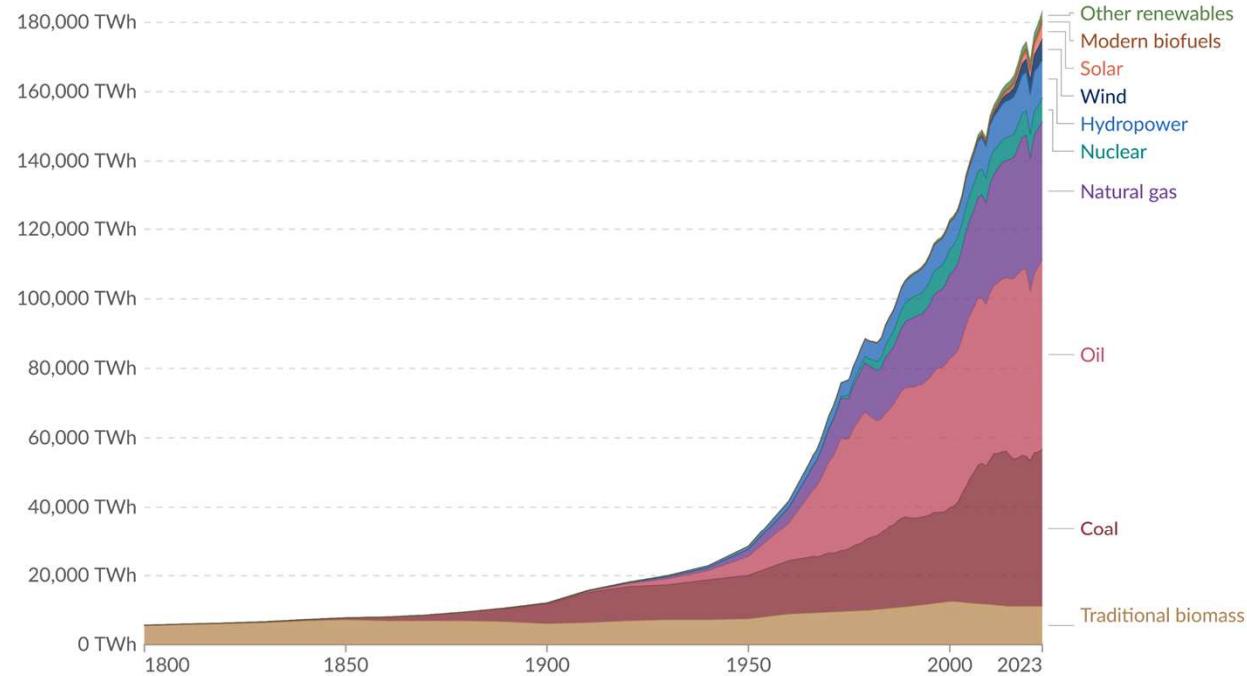


Lecture : la France avait pour objectif en 2020, une part de 23 % de renouvelables dans sa consommation d'énergie finale, mais n'a atteint que les 19 %, soit un écart de – 4 points de pourcentage

11/09/2025

Global primary energy consumption by source

Primary energy¹ is based on the substitution method² and measured in terawatt-hours³.



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Solaire en Nord - 20 ans



agir sobriété, coopération, liens
pédagogie Hauts-de-France, proximité, efficacité
énergie solaire informer
transition

Témoignages

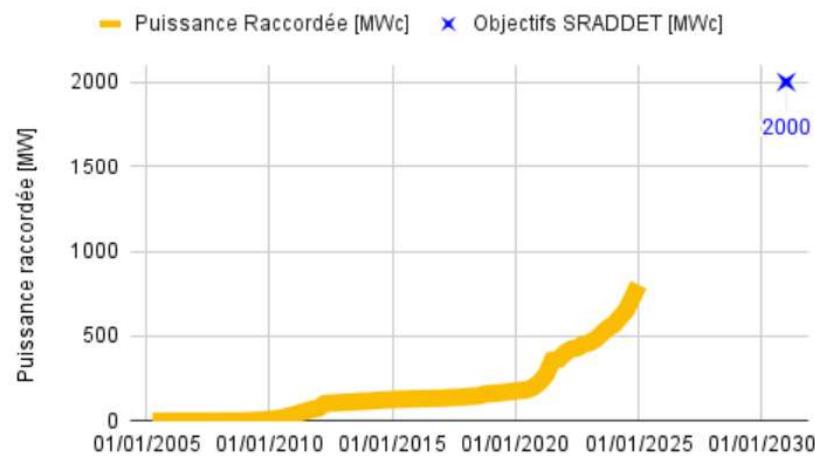
Les aspects réglementaires et organisationnels du marché de l'électricité, son équilibrage et les modalités de déploiement du solaire dans le mix électrique en France et en Belgique.



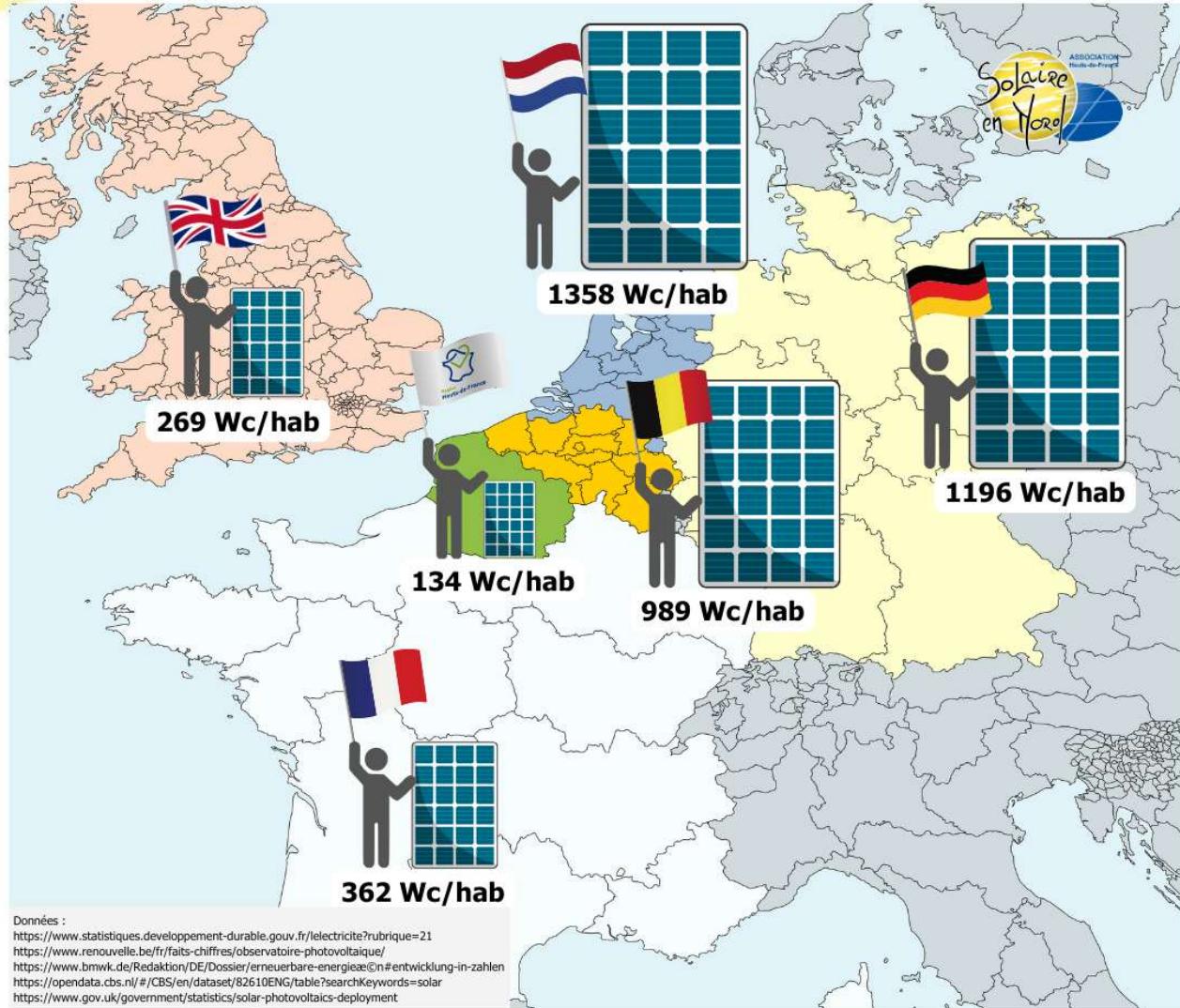
Déploiement du photovoltaïque en 2024

En 2024, 234 MWc* ont été nouvellement raccordés en région **Hauts-de-France**, pour atteindre un total de **803 MWc***

*1 MWc (MegaWatt crête) c'est environ 2500 panneaux photovoltaïques



Le contexte réglementaire mouvant début 2025 impactera fortement à la baisse le déploiement du photovoltaïque, malgré un retard important par rapport aux pays frontaliers en terme de puissance solaire par habitant !

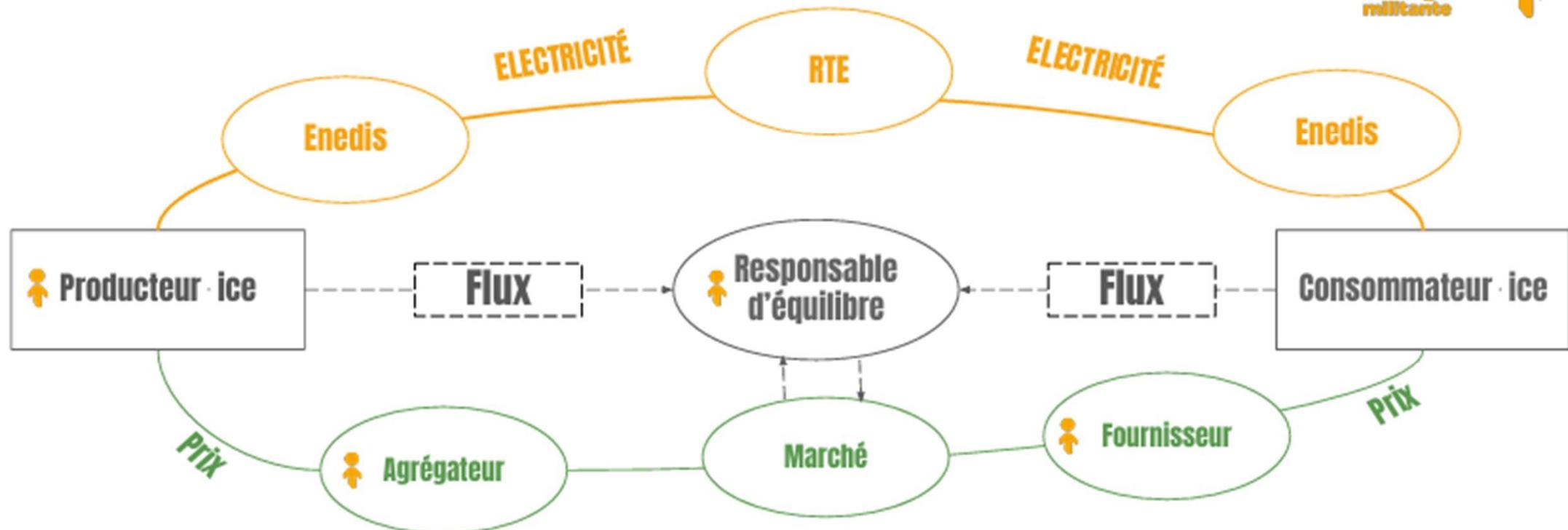




Energie Commune asbl

Benjamin Wilkin

Enercoop, un acteur coopératif et militant, implanté depuis 20 ans



- Enercoop s'est historiquement construit grâce au métier de fournisseuse d'électricité, depuis 2005.
- En faisant un lien direct entre les consommateur·ices et les producteur·ices, Enercoop est devenu agrégatrice, avec différents types de valorisation possibles : soutien public, offres marché et contrats durables et deux débouchés : le marché et ses client·es.
- En 2023, Enercoop est également devenue responsable d'équilibre, permettant de développer des outils performants de prévision de consommation et de production;
- Enfin, notre positionnement nous demande de gérer différents mécanismes : Garanties d'origine, ARENH, capacités...

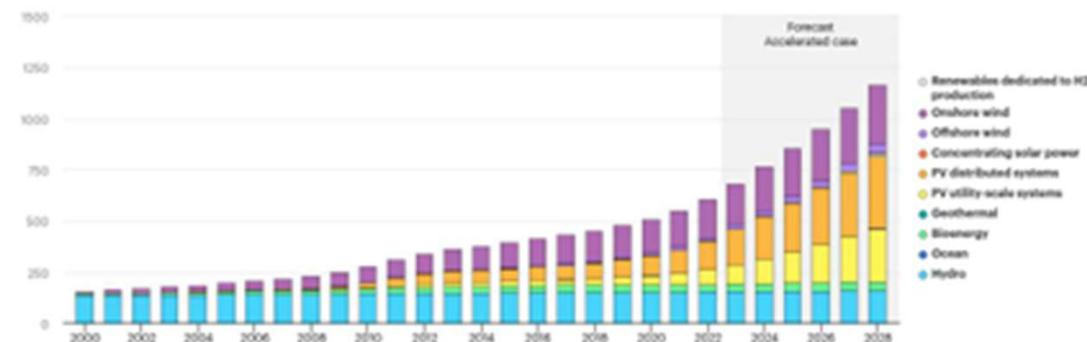


ETAT DES LIEUX

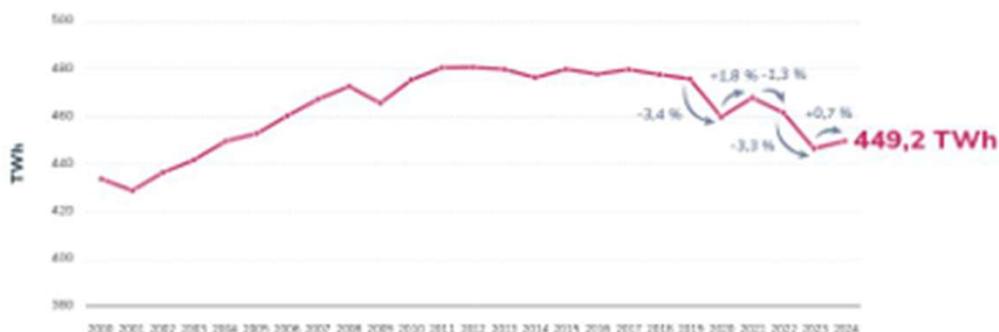
Le solaire face aux enjeux d'équilibrage avec la consommation

Électricité : hausse de la production et baisse de la consommation

Augmentation des sources de production renouvelables en Europe



Consommation corrigée des aléas météorologiques et des effets calendaires entre 2000 et 2024

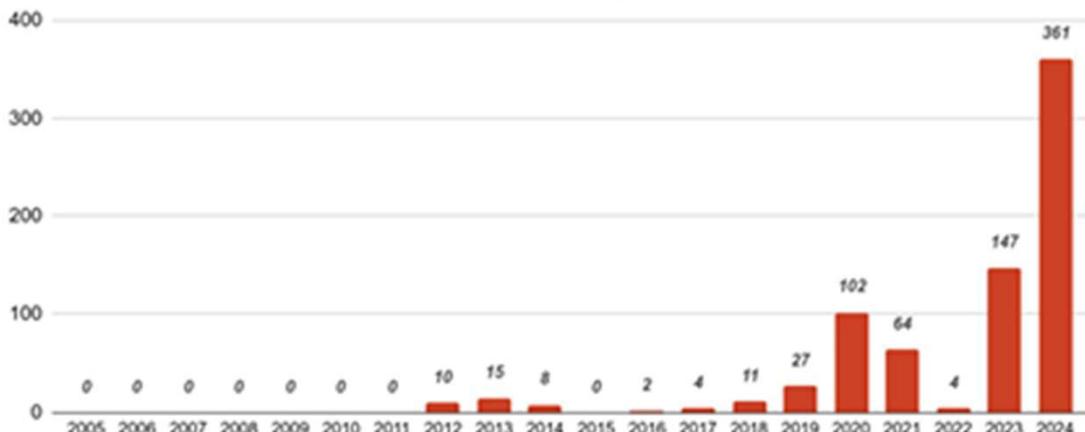


La prise de conscience de la crise de l'énergie et la baisse des coûts du matériel ont accéléré considérablement le développement des ENR en France et en Europe

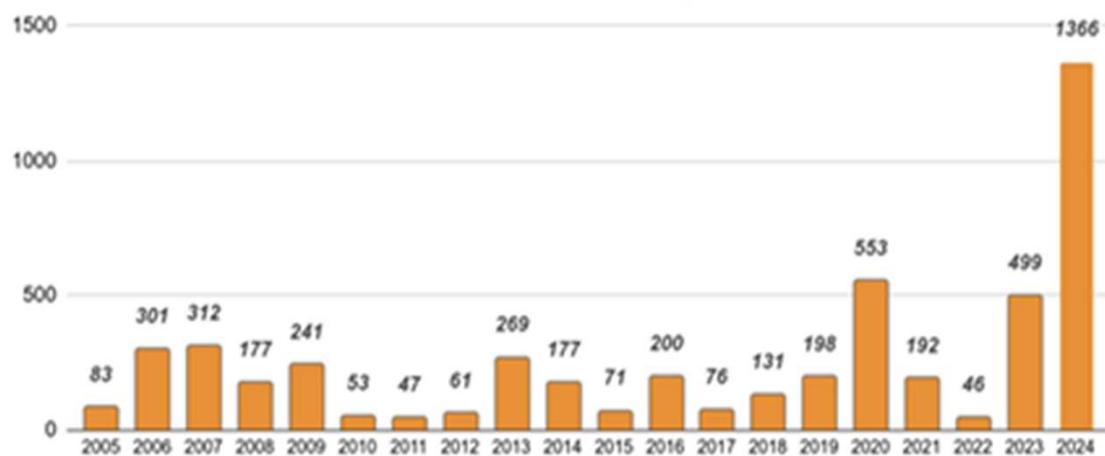
La consommation électrique a chuté en France du fait de la disparition de la demande industrielle et de la sobriété provoquée chez les ménages suite à la crise de l'énergie.

Conséquence : des prix spots négatifs ou faibles

Nombres de PSN depuis 2005



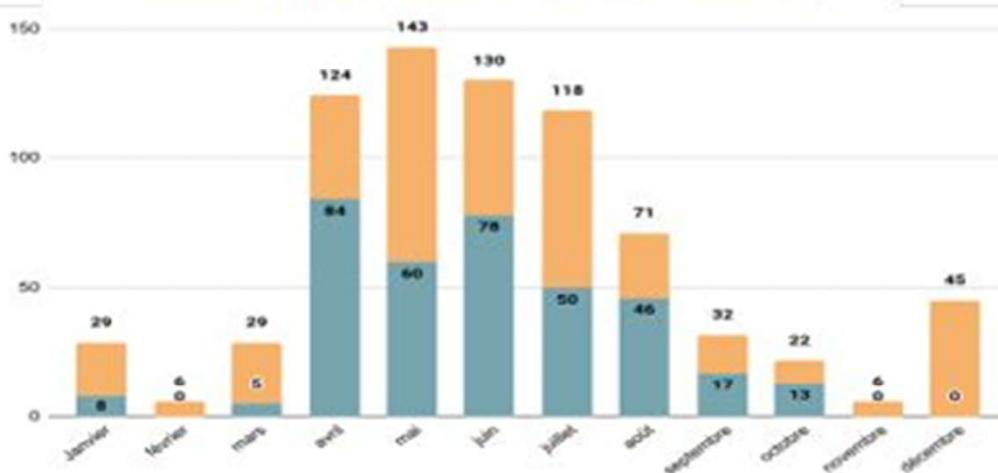
Nombres d'heures < 10 € depuis 2005



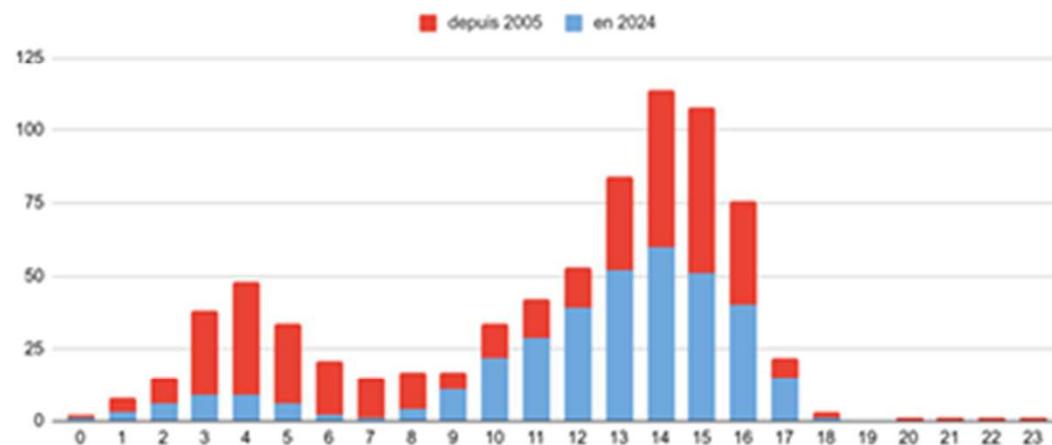
- Un phénomène qui apparaît sporadiquement entre 2012 et 2020
- 2024 a battu tous les records de PSN en France et ailleurs en Europe.
- 48% des PSN français ont eu lieu en 2024
- Le nombre d'heures à prix faibles (<10 €/MWh) a également très fortement augmenté en 2024.

Des PSN au printemps et en milieu de journée

Nombres de PSN par mois depuis 2005 et en 2024



Nombres de PSN par heures depuis 2005 et en 2024

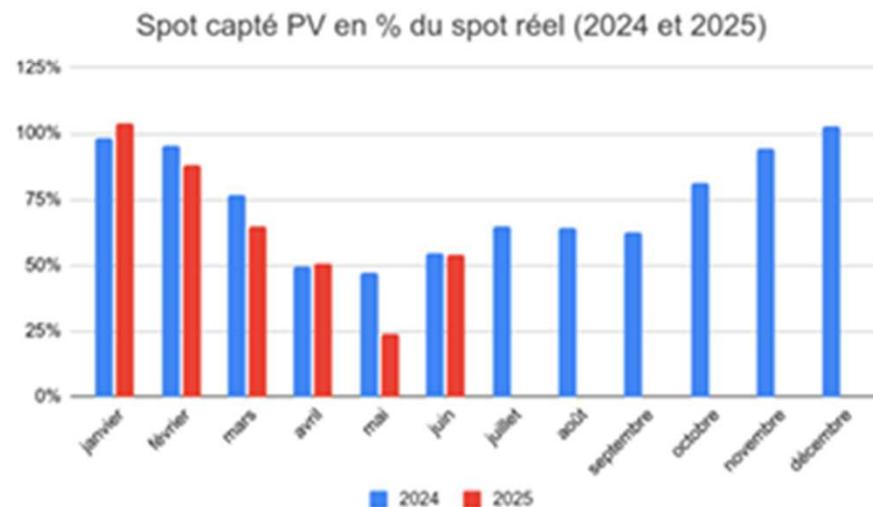


Des tendances claires se dégagent depuis plusieurs années. Les prix négatifs interviennent majoritairement :

- Au printemps et se prolongent durant l'été.
- En début d'après midi, période de fort ensoleillement
- Le week-end, période de faible demande

Le solaire : cannibalisation et baisse de la valeur profil

Spot capté en 2024 et 2025 par la filière solaire



- Spot capté sur l'année par le solaire en 2024 : 67%.
- Spot capté pour l'éolien en 2024 : 90%.
- Spot capté en mai 2025 : 25% du spot (4 / 5 €/MWh)

Contexte : fébrilité sur l'équilibrage et clivage politique



Enjeu concernant l'équilibre du réseau

Lettre aux RE de la part de RTE (avril 2025)

Mécanisme d'ajustement

Objet : Programmation de sites de production d'électricité disposant d'un Contrat d'Accès au Réseau Public de Transport d'électricité

Madame, Monsieur,

Vous êtes titulaire d'un Accord de Participation aux Règles relatives au dispositif de Programmation et êtes ainsi tenus d'établir et de transmettre à RTE les Programmes d'Appel de sites de production disposant d'un Contrat d'Accès au Réseau Public de Transport composant votre périmètre de programmation.

...

Par conséquent, il existe un besoin réel, indispensable et nécessaire à ce que vous nous transmettiez, lors des guichets de programmation (en J-1 à 16h30, puis toutes les heures en infrajournalier), des Programmes d'Appel fiables et exhaustifs afin d'anticiper au mieux et de manière efficiente, les contraintes que ces programmes peuvent induire sur la sûreté du système électrique français.

Politisation des enjeux



Merci à France Renouvelable pour ce montage
(post LinkedIn du 05/09/2025)

Intégrer un partage d'électricité renouvelable

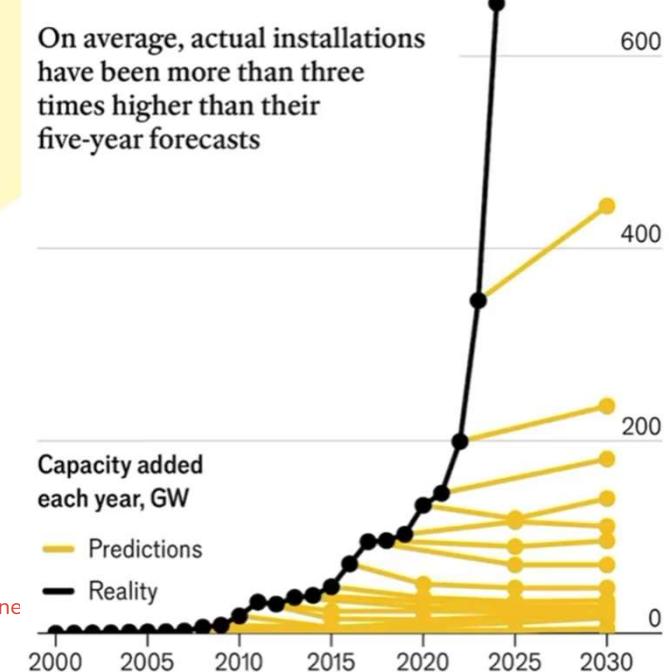


↓ EASY PV

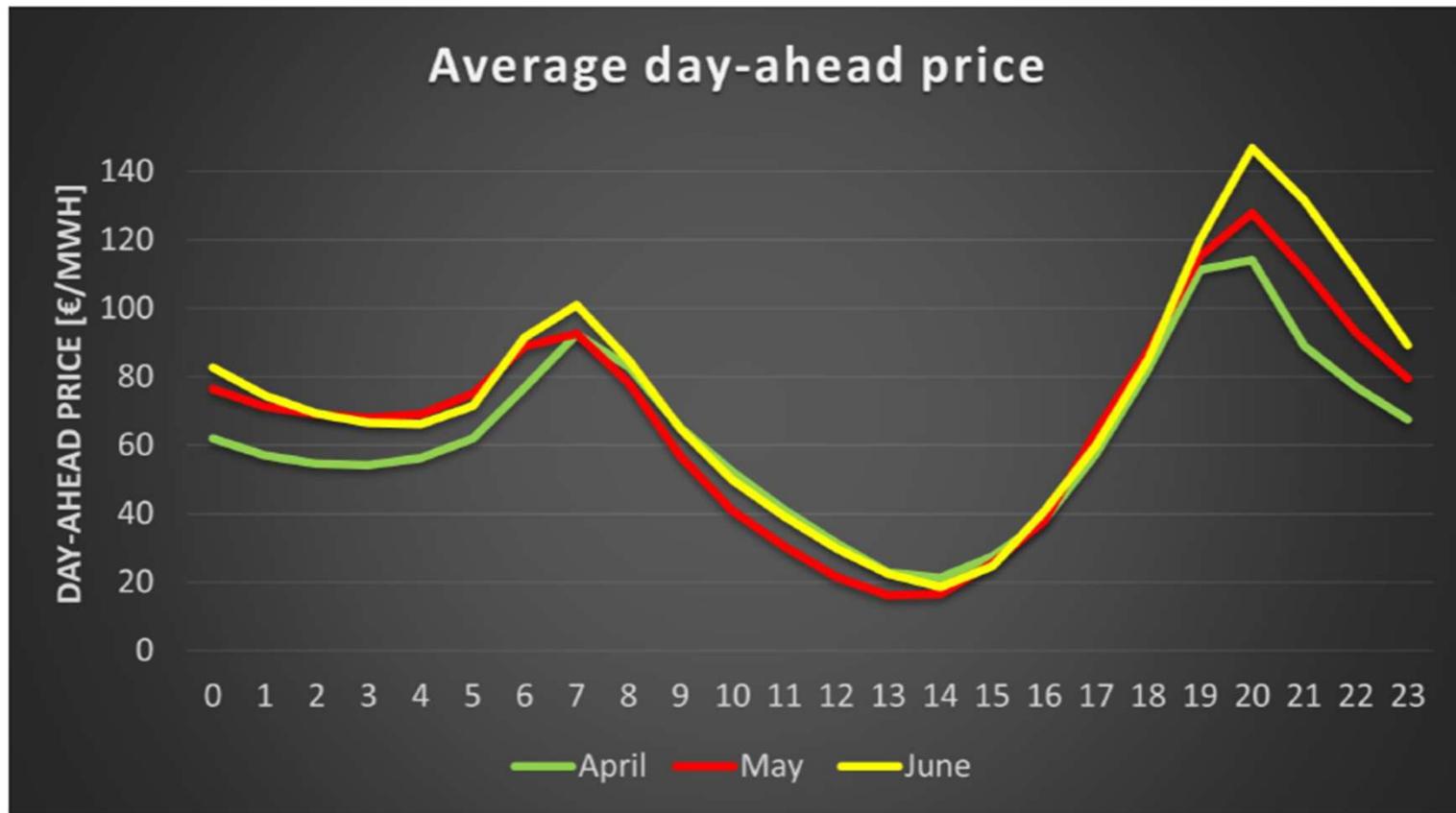
how solar outgrew expectations

On average, actual installations have been more than three times higher than their five-year forecasts

www.ene



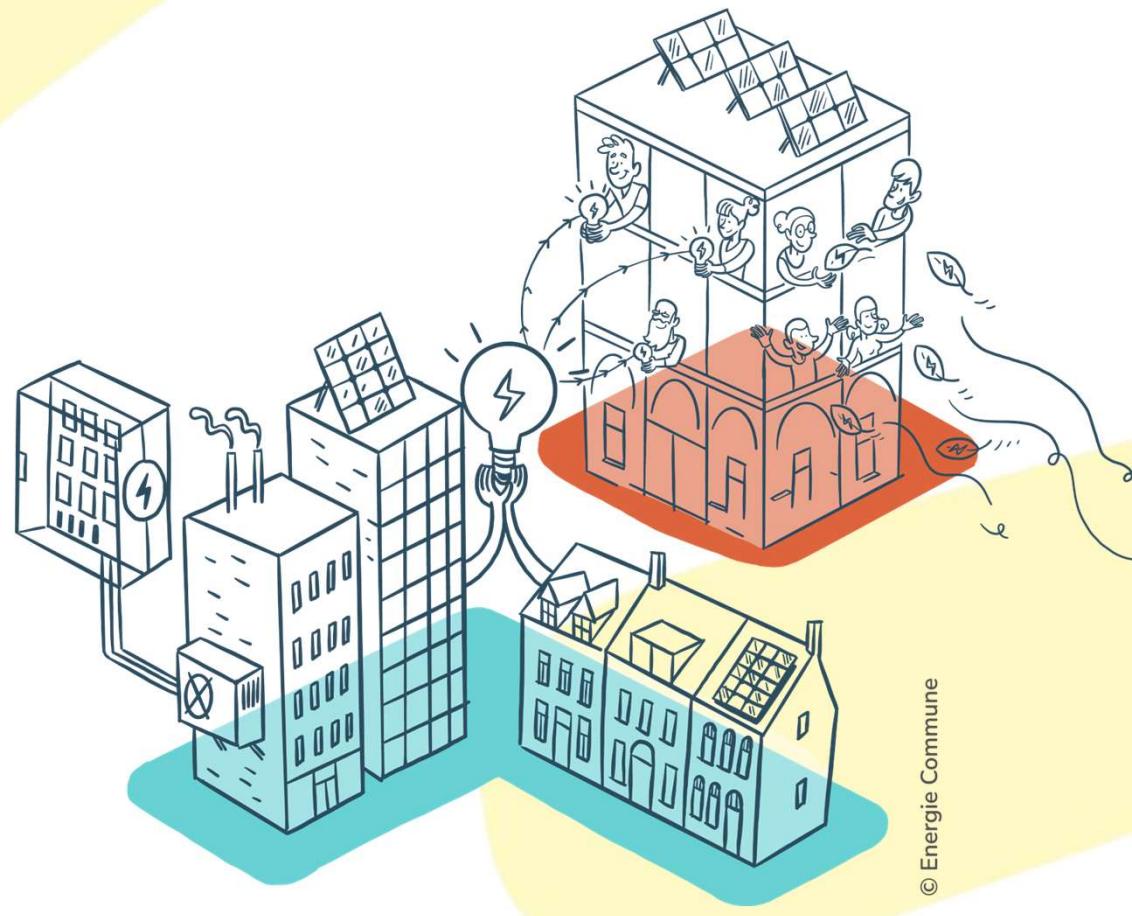
Le futur incompris?



www.energi

Average day-head price per hour for the spring months in Germany 2024

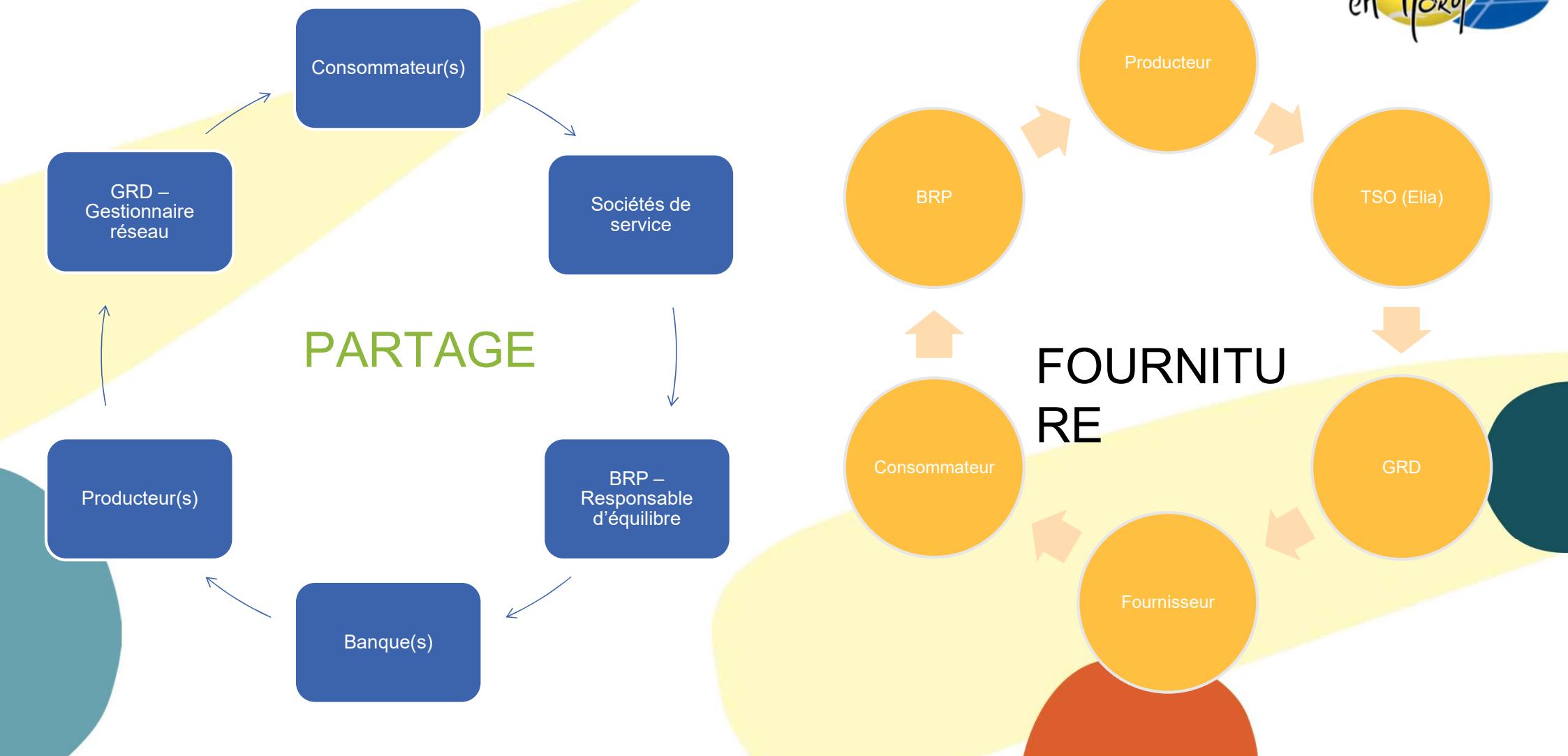
Le partage d'électricité renouvelable



www.energiecommune.be

© Energie Commune

Deux systèmes co-existent

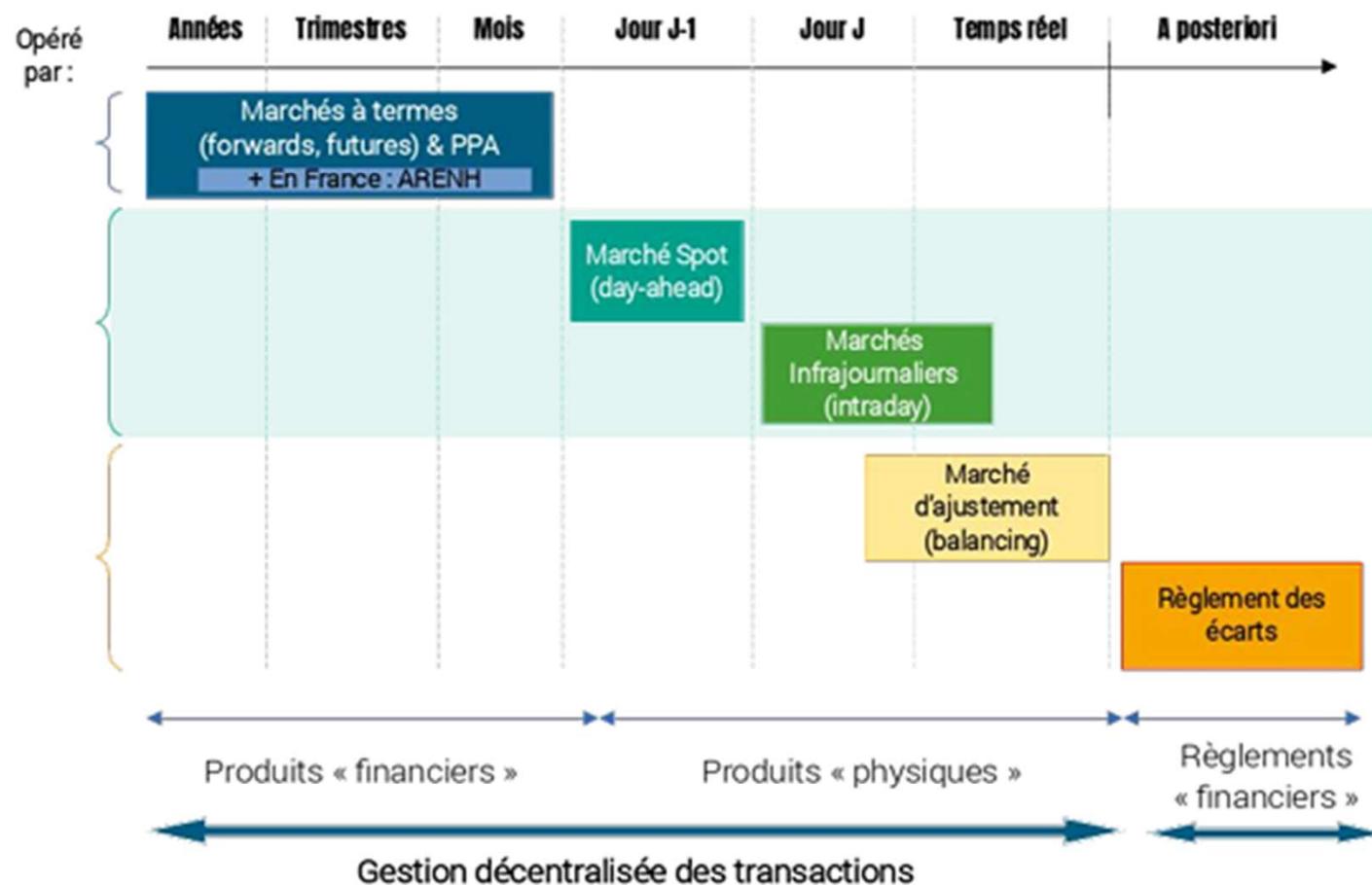




LES NOUVEAUX ENJEUX DU MARCHÉ

Point de vue d'une coopérative agrégatrice et fournisseuse militante

RAPPEL SUR LES “PRODUITS MARCHÉS”



ASSURER PRÉVISION ET PILOTAGE DANS LA RELATION AGRÉGATEUR PRODUCTEUR



Le travail entre la filière solaire et les agrégateurs permet d'appréhender les enjeux de synchronicité et d'adéquation consommation / production en temps réel

Un risque financier pour le responsable d'équilibre

Le RE a besoin d'avoir une bonne visibilité sur l'électricité qui sera injectée dans son périmètre sous peine de déséquilibre et d'exposition au SPOT et au PRE.

Améliorer la prévision de production à un pas de temps toujours plus fin (15 minutes)

- Qualité de la prévision (y compris pour les surplus d'autoconsommation)
- Accès marchés
- échanges efficaces avec les producteurs

Un risque financier pour l'agréinateur

L'agréinateur qui achète à prix fixe et vend lors d'épisodes de PSN s'expose à un risque financier.

Enercoop incite un nombre important de ses producteur·ices à s'arrêter lors de PSN avec un régime de rémunération spécifique.

- Une compensation : Lors de PSN, le producteur est rémunéré à hauteur d'une compensation qui se base sur sa production estimée.
- Une rémunération spécifique pour l'énergie injectée à tort : Le volume injecté lors de PSN est exclu des volumes valorisés au prix du contrat et est valorisé au PREP. Le producteur s'expose ainsi au prix du PREP en cas de non-arrêt.

EXPLORER LES MODÈLES BASÉS SUR LE STOCKAGE



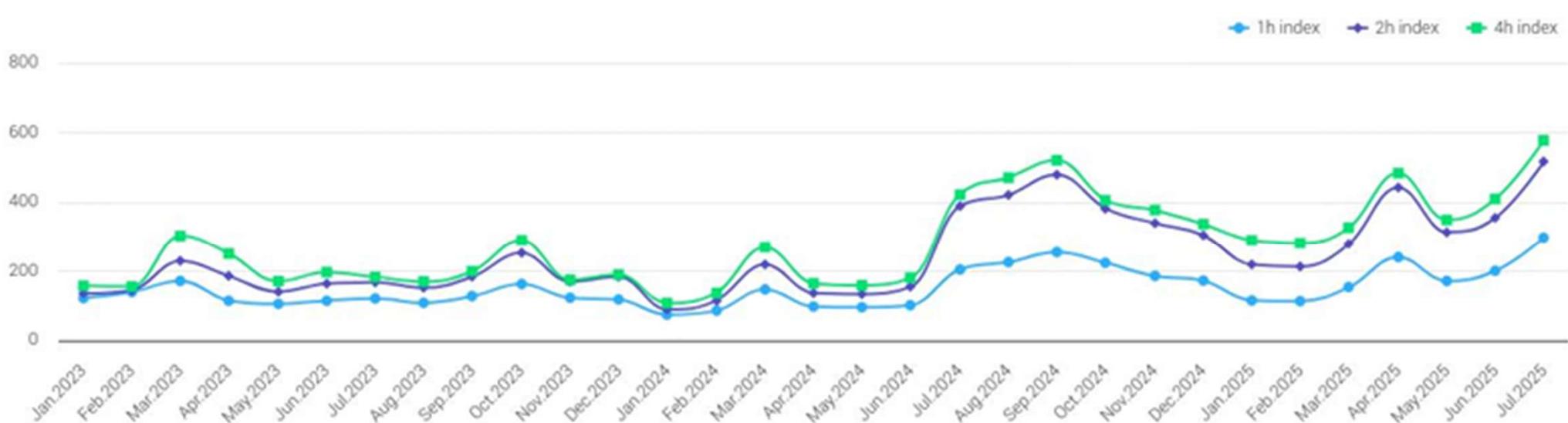
Les revenus des batteries ont fortement augmenté ces deux dernières années, en particulier pour les batteries de 2h et 4h de capacité. Le ROI actuel d'une installation de batterie de 2h est de 2 à 3 ans pour les installations supérieures à 5 MW, ce qui est très faible.

Ces revenus permettent d'envisager de lutter contre la dégradation de la valeur des parcs soit :

- En installant des batteries avant le raccordement du parc
- En travaillant avec un agrégateur en capacité de proposer un service de stockage décentralisé.

French Storage Index

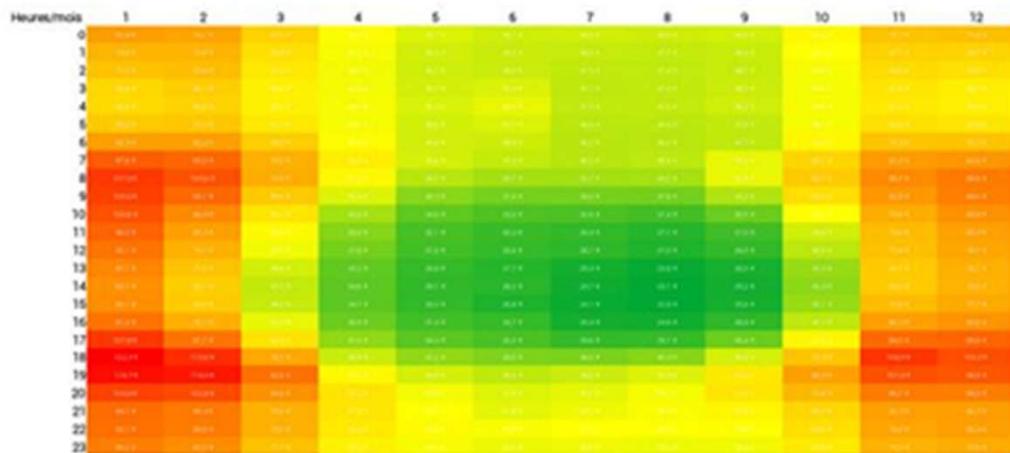
Annualised revenue in k€/MW/year



MODIFIER LES HABITUDES DE CONSOMMATION POUR SOUTENIR LE SOLAIRE



Prix de marchés en fonction de l'heure et du mois de 2024



Une offre qui fait bénéficier les client·es des heures ensoleillées



Du lundi au vendredi		Week-end & jour férié
Période Hiver Novembre à Mars	Période Été Avril à Octobre	Toute l'année
Heures creuses 00h - 05h00	Heures pleines 05h - 10h00	Heures creuses C'est le jour du déjeuner et du reposage
Heures pleines 05h - 10h00	Heures creuses Samedi 00h à dimanche 23h00	Heures creuses Je lave ma machine à laver et j'enlève la lessive-détritus
Heures creuses 10h - 15h00	Heures pleines 15h - 20h00	Je prépare les plats de la semaine suivante
Heures pleines 15h - 20h00		

s fournisseurs ont les moyens de faire des offres avec des plages horaires d'heures creuses qui leurs sont propres donc profiter des effets positifs de l'énergie solaire.
 En inverse, les heures pleines peuvent permettre de limiter les pointes.
 Peuvent également envoyer des signaux du jour pour le lendemain, rouges ou verts pour s'adapter à la variabilité des EnR

SOUTENIR LA TRANSITION SOCIALE POUR SOUTENIR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



PLAIDOYER POUR L'ÉLECTRIFICATION DES USAGES

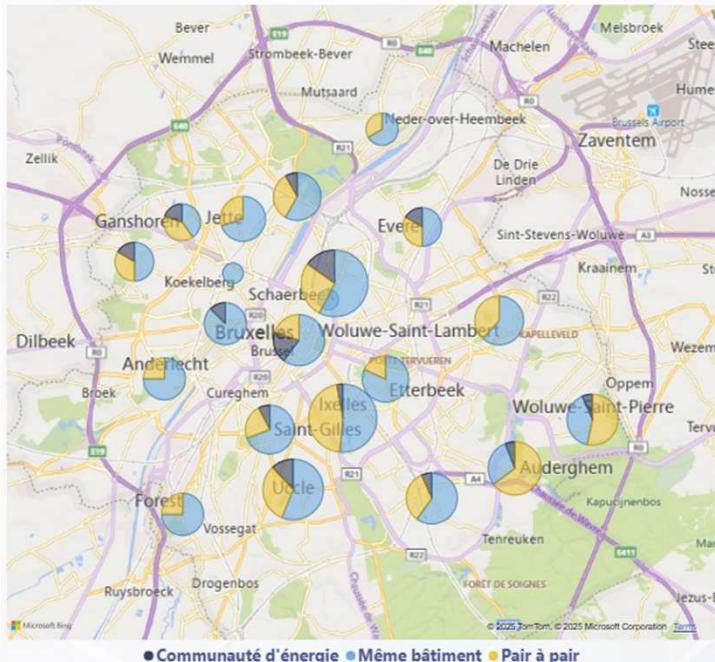
- Trouver un positionnement cohérent sur la mobilité électrique.

ACCOMPAGNER LES MODÈLES INNOVANTS D'ÉCHANGES ET DE COMMERCIALISATION

- Accompagner la mise en place des opérations d'autoconsommation collective.
- Accompagner les schémas innovants de c-ppa
- Accompagner les innovations (stockage, batterie, trackers...)

LES MOUVEMENTS CITOYENS AU COEUR DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET SOCIALE

- Les citoyens qui produisent et qui consomment sont à la pointe de la compréhension des enjeux et de la bonne consommation
- Il y a un travail collectif à faire pour que la consommation vienne mieux rencontrer la production solaire.
- Depuis sa création, Enercoop accompagne la filière avec des contrats et des rémunérations permettant l'émergence de projets innovants et inspirants.
- Désormais, nous complétons cette approche en construisant un modèle qui nous permet d'apporter une nouvelle valeur : des heures de consommation au moment de la production.
- Pour amplifier cette dynamique, Enercoop renoue avec une stratégie commerciale forte, afin d'acquérir de nouveaux et nouvelles client·es.



260
Projets actifs

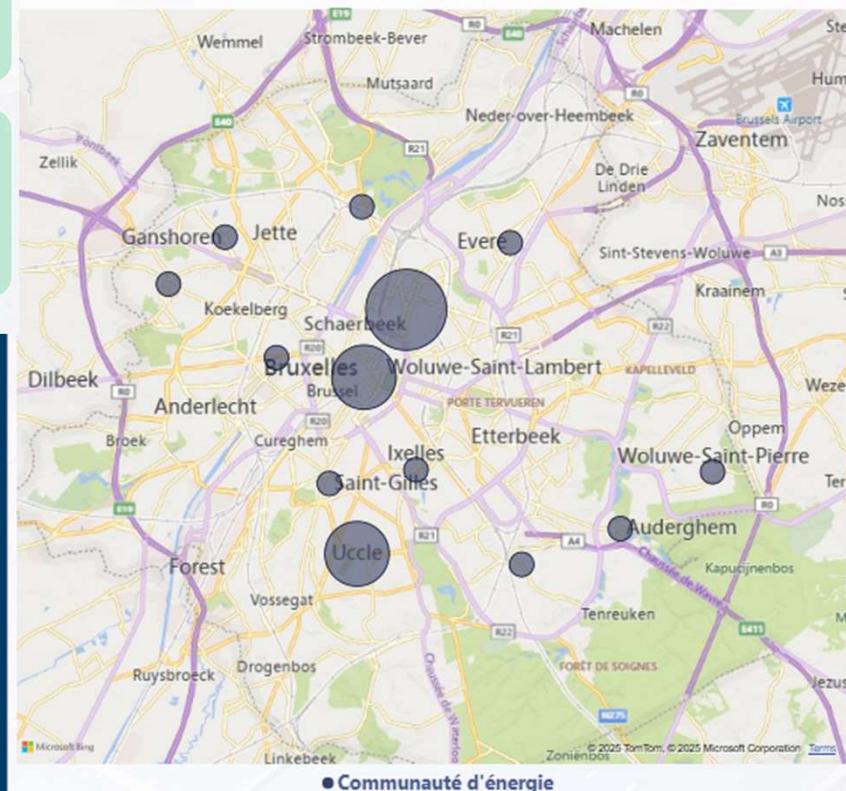
2188
Participants

22,21
MWc partagés

- Communauté d'énergie ^
- Sélectionner tout
 - Communauté d'énergie
 - Même bâtiment
 - Pair à pair

Home

www.energiecommune.be



21
Projets actifs

890
Participants

13,79
MWc partagés



Conférence

Les innovations technologiques et techniques dédiées à l'optimisation de l'autoconsommation et au stockage de l'électricité : quels sont les freins et perspectives ? Et quel est leur impact environnemental ?

11/09/2025

Solaire en Nord - 20 ans



agir
sobriété
coopération
liens
pédagogie
Hauts-de-France
proximité
efficacité
énergie solaire
informer
transition

PROJET APC 2020



ARTS
ET MÉTIERS
ParisTech

l'Europe
s'engage
en France

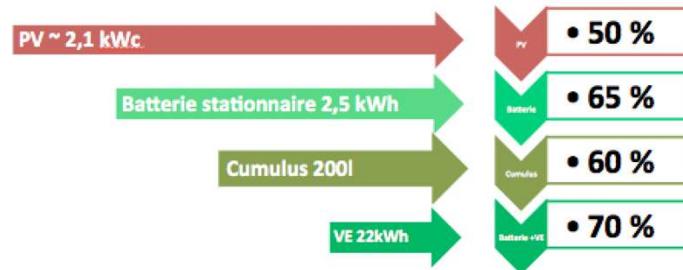
Région
Hauts-de-France

L2EP
L'atelier d'Electrotechnique
et d'électronique de puissance de Lille

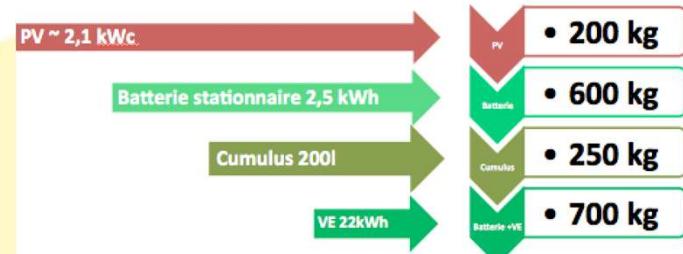


11/09/2025

Taux d'autoconsommation selon l'équipement du foyer (2020)



Evolution des émissions annuelles de CO2 (2020)



Solaire en Nord - 20 ans





Photovoltaïque évolutions et Autoconsommation

20 ans de solaire en Nord – Le L2EP aux Arts et Métiers
11 septembre 2025



Sommaire

- **Intro**
- **Evolutions**
- **Exemples**
- **Recherches appliquées**

Laboratoire d'Electrotechnique et d'Électronique de Puissance de Lille

Multi-tutelle & 4 Equipes de recherches

Développement de systèmes électriques innovants



Prof. Betty SEMAIL

Commande

Prof. Alain BOUSCAYROL



Électronique de Puissance

Prof. Nadir IDIR



Outils Méthodes numériques

Prof. Abdelmounaim TOUNZI



Réseaux électriques

Prof. Benoit ROBYNS



Equipe Réseaux: Smart city / smart grid / smart charging

Jumeau Numérique

Collecte datas / construction / assemblage / jouer des scénarios

Missions: Projets de Recherche appliquée

- Construire et tester des jumeaux numériques de systèmes complexes
- Optimiser les services aux usagers et diminuer les émissions de GES

Une équipe motivée



Des démonstrateurs échelle 1



BILAN: Projets de recherche 2011-2025

- Expertise: jumeaux numériques et démonstrateurs Echelle 1 à partir de données 'Terrain'
- Projets : 6 livrés et 3 en cours
- 4 contrats directs: Efficacité Energétique



GEMSHYCPL (2013): -15% GES (hiver), tri génération et photovoltaïque



OUEST 2020 (2015), « avec des EnR et des Eco-gestes: -30% de consommation et -20% de GES du Campus Pasteur Lille



APC 2020 (2017), « piloter les consos maison permet une ACI jusqu'à 70% » Solaire en Nord



ZAC St-Sauveur(2018), piloter la recharge des VE permet de diviser par 2 la pointe électrique de la ZAC St Sauveur à 18h



B2RI (2021); piloter la recharge rapide (DC 150 kW) permet d'éviter de dépasser la puissance souscrite du campus ENSAM et optimise l'ACI.



GROUPEE 4.0 (2023) : piloter le service d'autopartage VE en V2G, permet d'augmenter l'ACC de 20% et jusqu'à -28% GES du logement social



Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance de Lille



Arts et Métiers - Sciences et Technologies



Sciences et
Technologies
Arts et Métiers

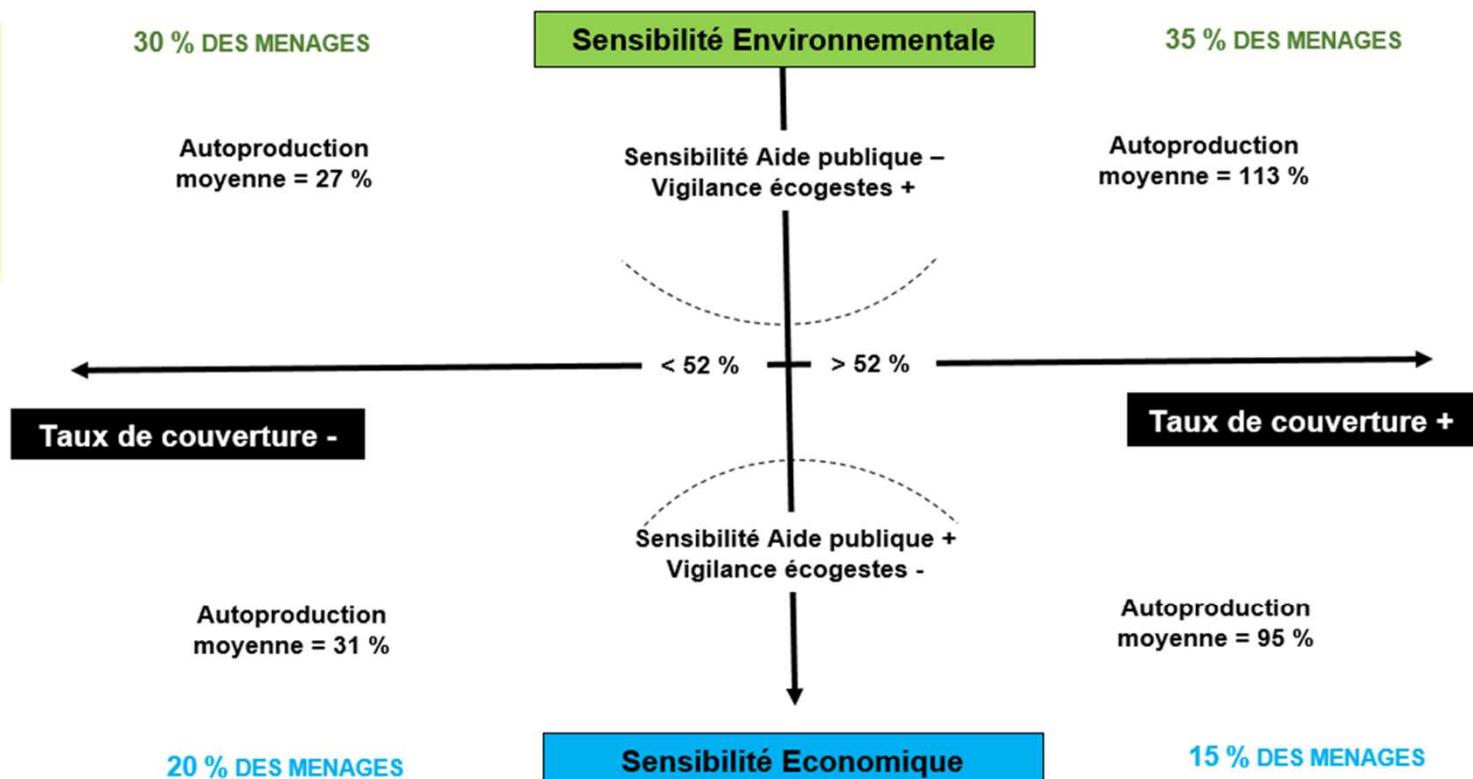
APC 2020¹ : un projet visionnaire

- AAP régional de 2015: « Chercheurs-Citoyens »
- Co-Financement région , Feder - Europe , ENSAM
- 36 mois de Collaboration inédite : L2EP et Association Solaire en Nord



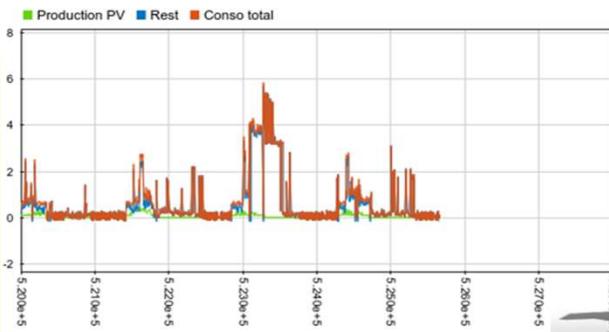
Résultats : Typologie des ménages «Solaire en Nord»

Représentation de la typologie des ménages issus du fichier contacts de Solaire en Nord et qui ont répondu à l'enquête en ligne (début 2018)



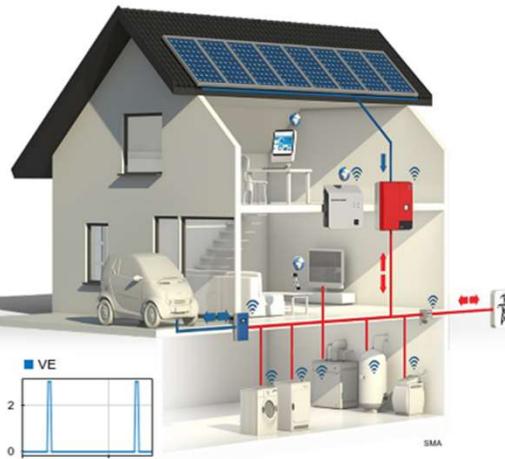
Interface IHM : L'autoconsommation chez soi Jumeau numérique APC 2020

APC 2020

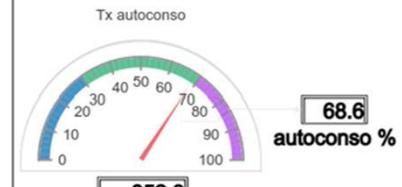


9550.833333...
VE estimation
km 100%
electric

1146.0999999...
VE charge en
kWh



© Daniel MARIN & Thomas Rollot avril 2019



Prix_EDF_PV_rest_bat €
852.3
112.3
1098
358.3
28.87 % evolution prix

CO2_EDF_PV_rest_bat [kg]
331.8
47.76
661.2
377.2
99.28 % evolution CO2

-672.4
Surplus reseau [kWh]



APC 2020



Exemples de simulations : 1 journée ensoleillée type

SANS BATTERIE STATIONNAIRE

APC 2020

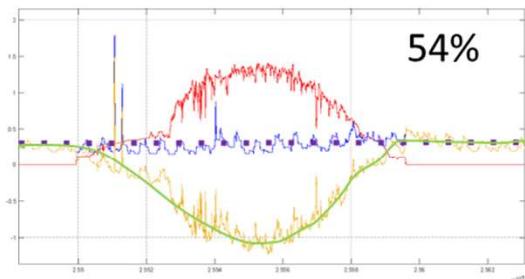


AVEC BATTERIE STATIONNAIRE

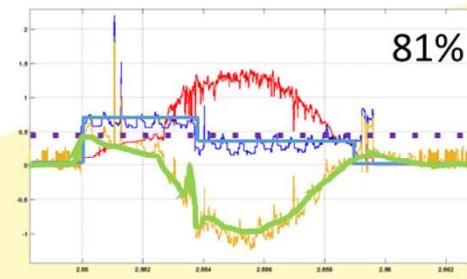
APC 2020



ACI = 54%



ACI = 81%



APC 2020 : un projet précurseur

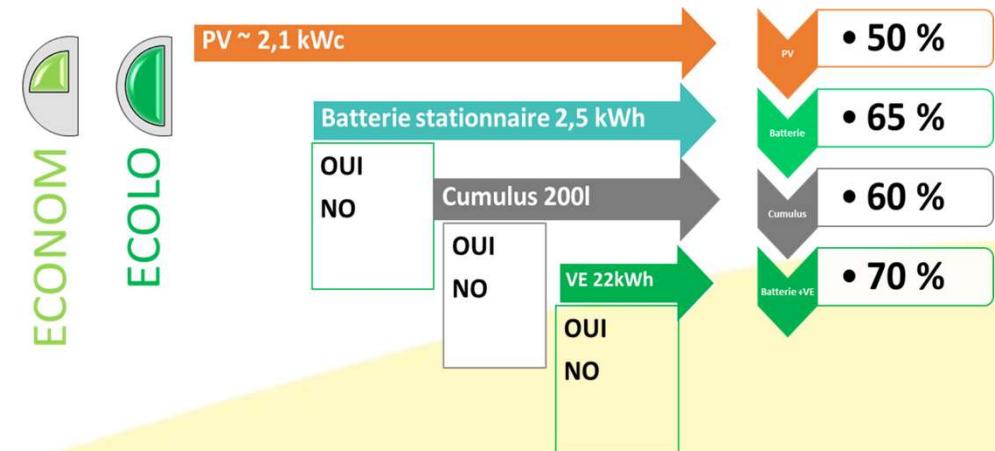
Résultats en 2019:

- Adapter la puissance crête au foyer de 2 à 3 kWc (px=300 Wc)
- 4 Typologies mais une mixité de profils de citoyens
- Taux d'ACI possible de l'augmenter:
 - 50% : avec des écogestes et la puissance crête adaptée
 - 60% un stockage sur ballon ECS
 - 70% avec du stockage Li-ion (VE ou batterie stationnaire)

Perspectives du projet:

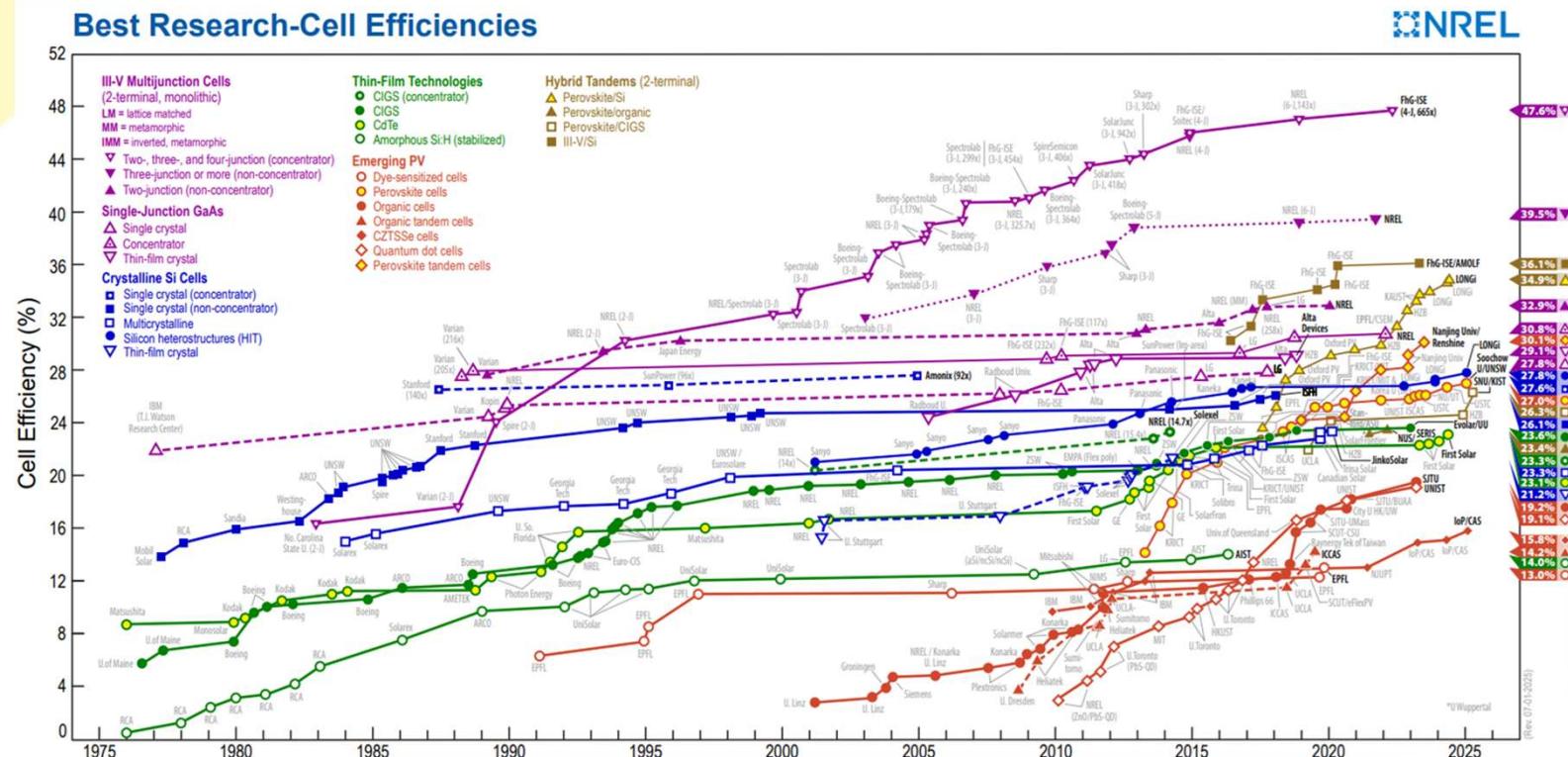
- MAQUETTE 2030 : Tester des px hybrides et Intégrer un stockage Li-Ion (projet MEL B2C)
- Cumulus mixte : ELECTRIQUE/SOLAIRE
- Modéliser et optimiser recharge VE: Borne bidirectionnelle, V2Grid et V2Home (projets B2RI et GROUPEE 4.0)

Exemples de résultats modélisés en ACI : 50% -> 70%



Evolutions technologiques du Photovoltaïque 2005 -> 2025

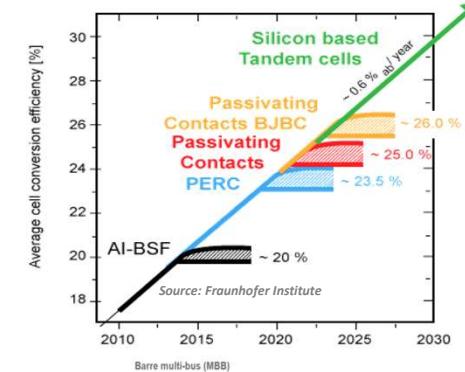
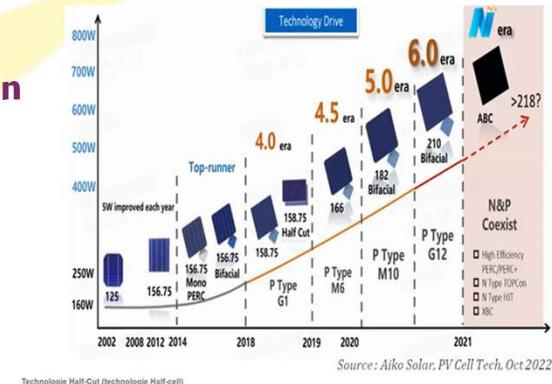
- Modules ou panneaux:**
 - Cellules
 - Connectiques
 - Dimensions, poids
- Fixations/Intégration**
- Onduleurs PV:**
 - Hybrides
 - Performances
 - intelligence
- Stockage:**
 - Techno Li-ion: LFP
 - Capacité / Puissance
 - Sécurité



Optimisation des Modules PV

Cellules

- Evolution cellule Si: taille / fabrication
- Découpe ½ cellule (Half-Cut)
 - + résistance Meca et thermique
 - - résistance électrique
 - + surface active
- Multifils (MBB):
 - - résistance électrique
 - + surface active



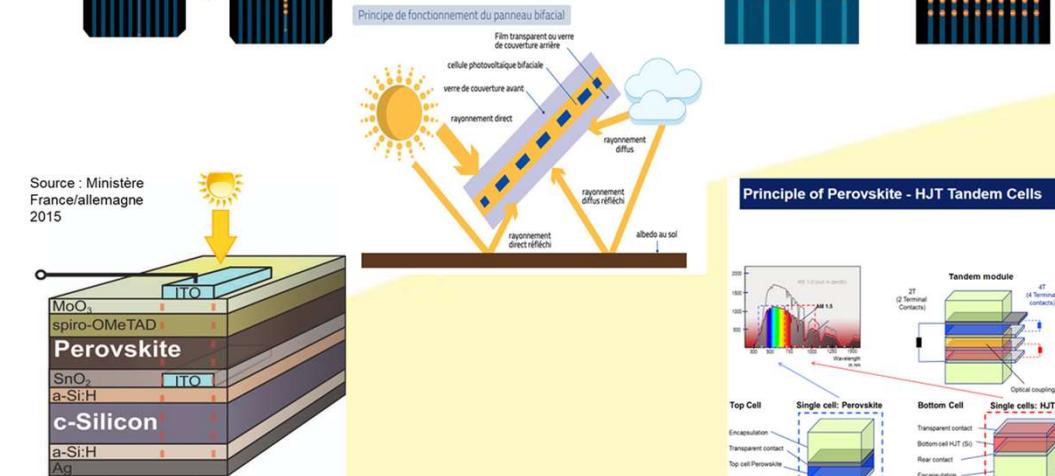
Cellule bifaciales : 2 faces actives dos à dos

Cellules hybride :

- Tandem cells: empiler Si-mono + pérovskite
- Peu cher car intégré au processus Si

Intérêts

- spectre lumineux: + Large
- Densité de Puissance: +Wc/m²
- Efficacité: 24% à 33%



Résultats:

+Wc/m² ; - γ Pmax (%/°K) , - €/Wc



Nouveautés de pose des panneaux PV

- **A plat, quelques degrés**
- **Est / Ouest ; Nord / Sud (Bifaciaux) ...**
- **Collage sur surface plane**
- **Serre photovoltaïque, poulaillers (agrivoltaïsme)**
- **Séparations verticales (clôtures, brise-vue , mur acoustiques, ...)**

Système de pose bifacial



Germany's Solar Fences: More Affordable Than Wood, And They Also Generate Electricity!



Galvanized ground mounted vertical bifacial solar panels



<https://www.9sunsolar.net/product/galvanized-ground-mounted-vertical-bifacial-solar-panels>



L2EP
Laboratoire d'electrotechnique et
d'électronique de puissance de Lille



AM
VALOR
Arts et Métiers - Sciences et Technologies



Spanish installer tests vertical rooftop PV array based on conventional panels



Sur toit-terrasse, les panneaux Heliup sont fixés par collage sur la membrane d'étanchéité - crédit: Heliup

A plat : collage du module PV sur l'étanchéité (Heliup)

<https://www.pv-magazine.com/2024/04/16/spanish-installer-tests-vertical-rooftop-pv-array-based-on-conventional-panels/>

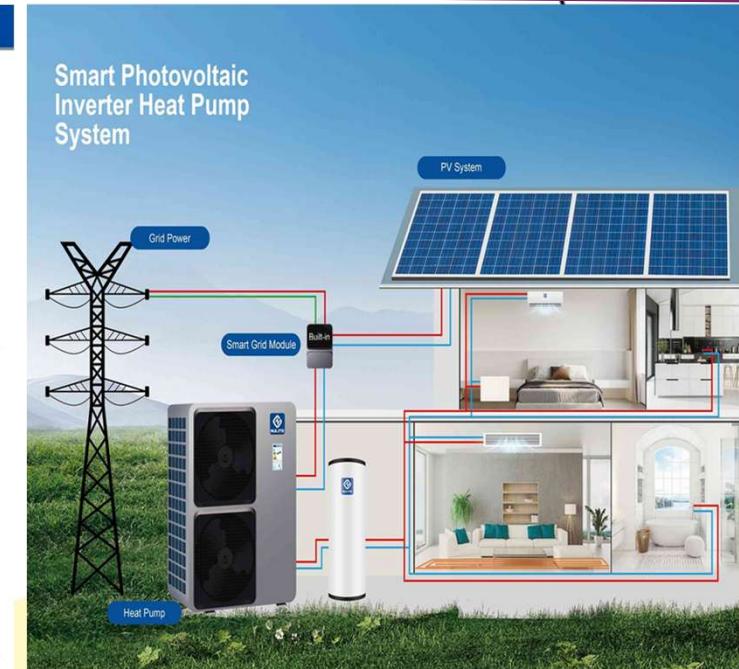
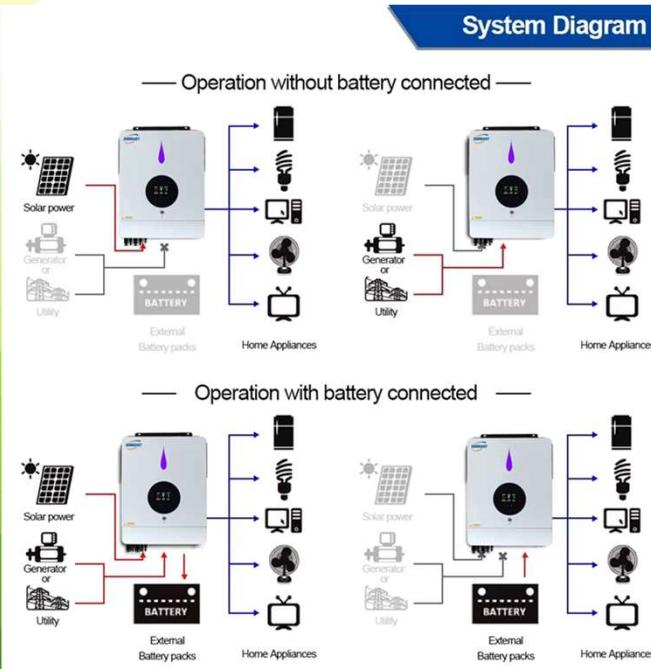
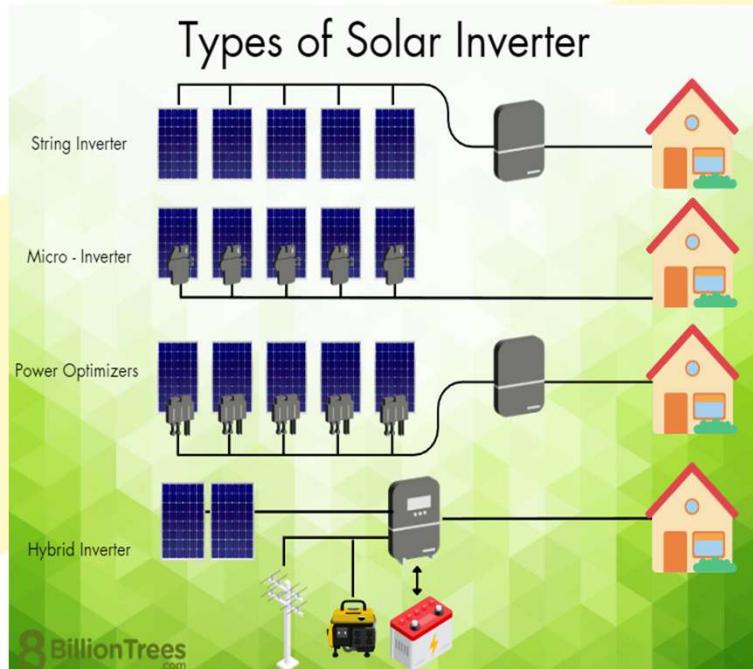


Évolutions des Onduleurs

- Fabricants: Usa, Europe Asie, Inde
- Hybrides (gestion bat)
- Efficaces : ++EE%
- Fiables: 15 à 25 ans
- Multi MPPT : Mono, poly
- Plus intelligents/communicants
- Moins chers



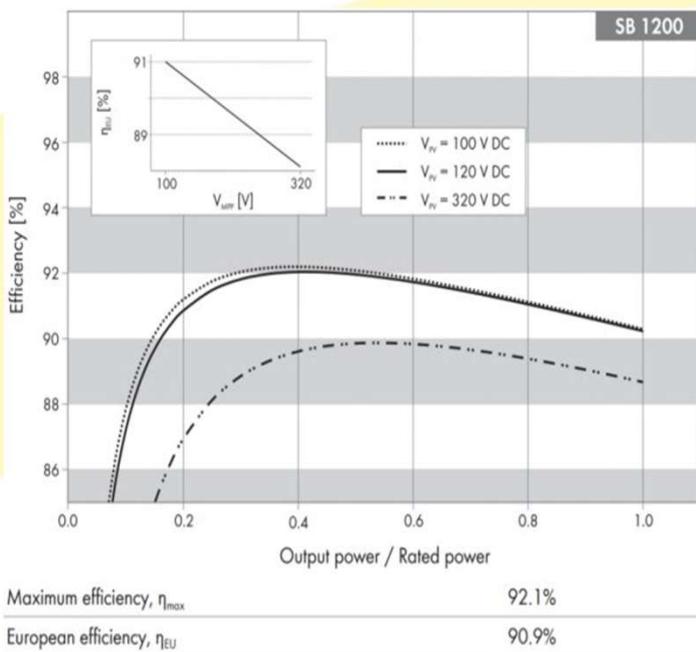
Onduleurs: type, fonction et intégration smart grid



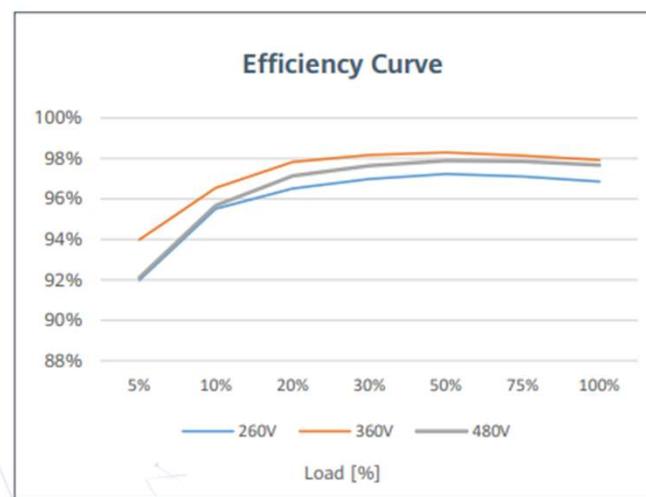
'SG Ready' : Integration intelligente entre le PV, le réseau et les consommateurs 'smart' de la maison (PAC , ...).

Efficacité d'un onduleur PV

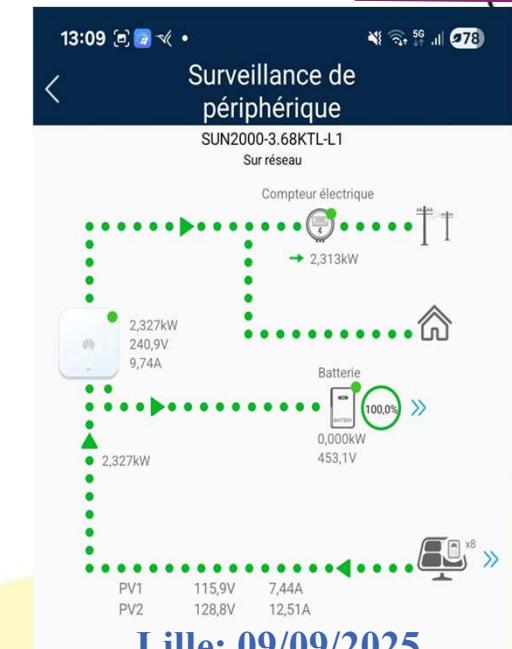
2015
(EE=91%)



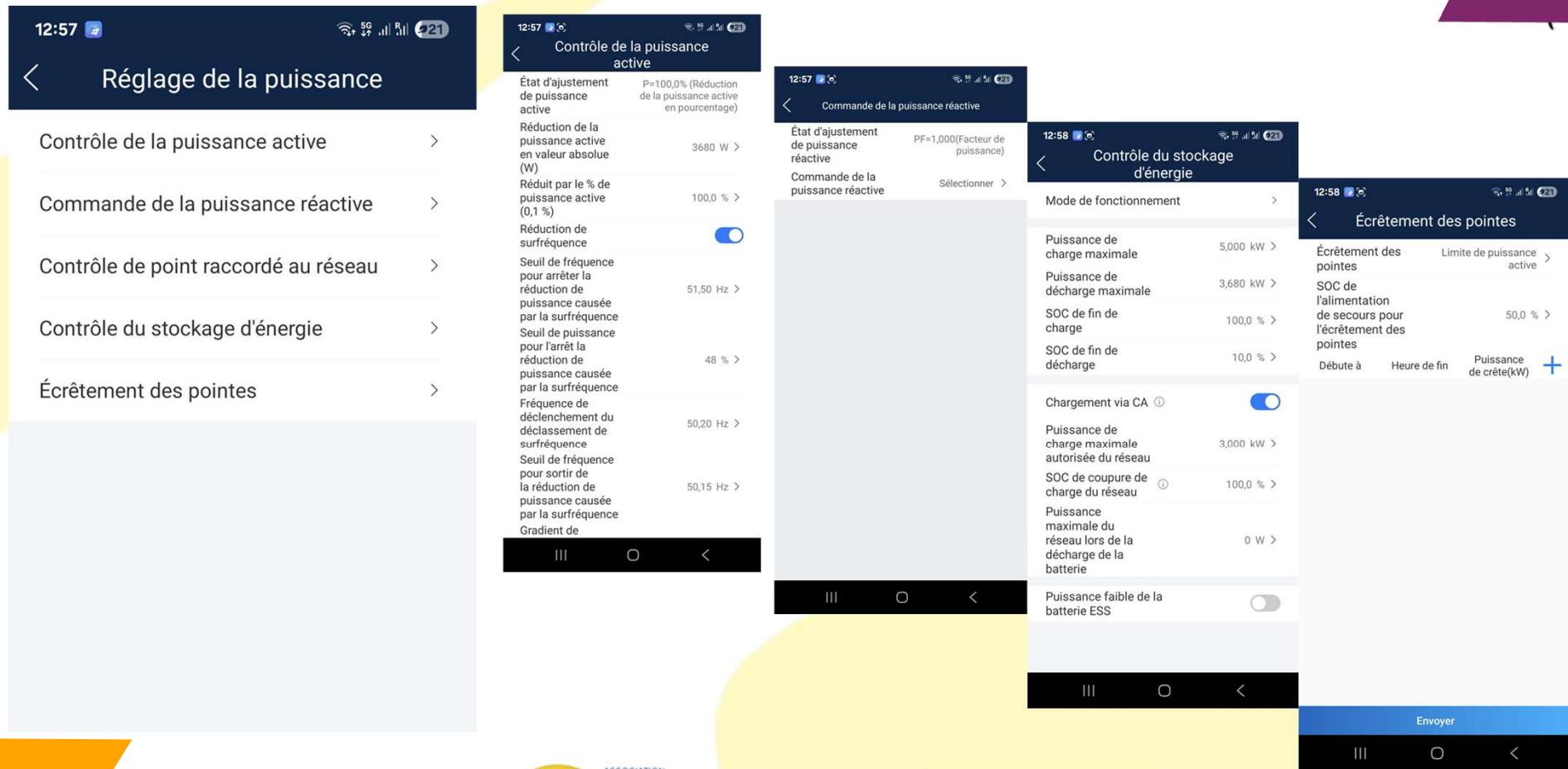
2025
(EE=98%)



- Rendement maximal 98,4%
- Efficacité pondérée européenne 97,8%
- AI-powered active arcing protection



EX: Huawei réglage et pilotage de la puissance



Huawei Paramètres de réseau

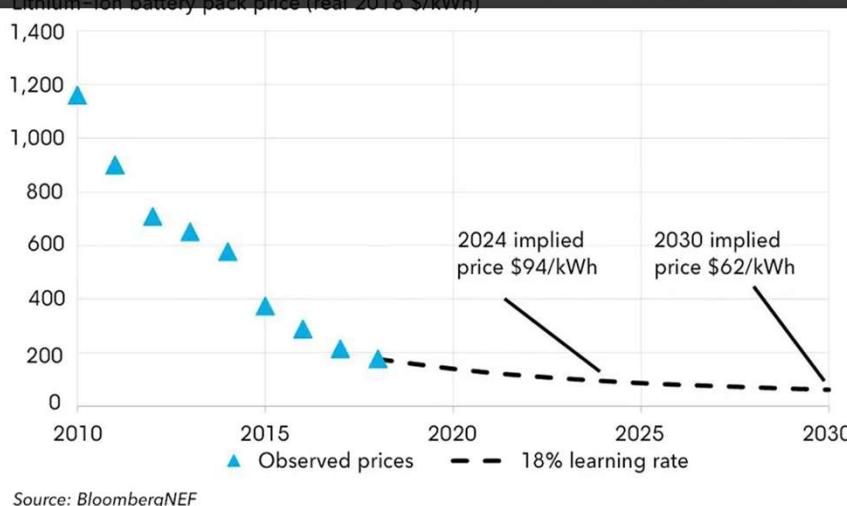
- AI-powered active arcing protection

The image shows five screenshots of a Huawei mobile application interface, likely for a smart meter or energy management system. Each screen has a header with time (12:58 or 12:59), signal strength, battery level, and a back arrow.

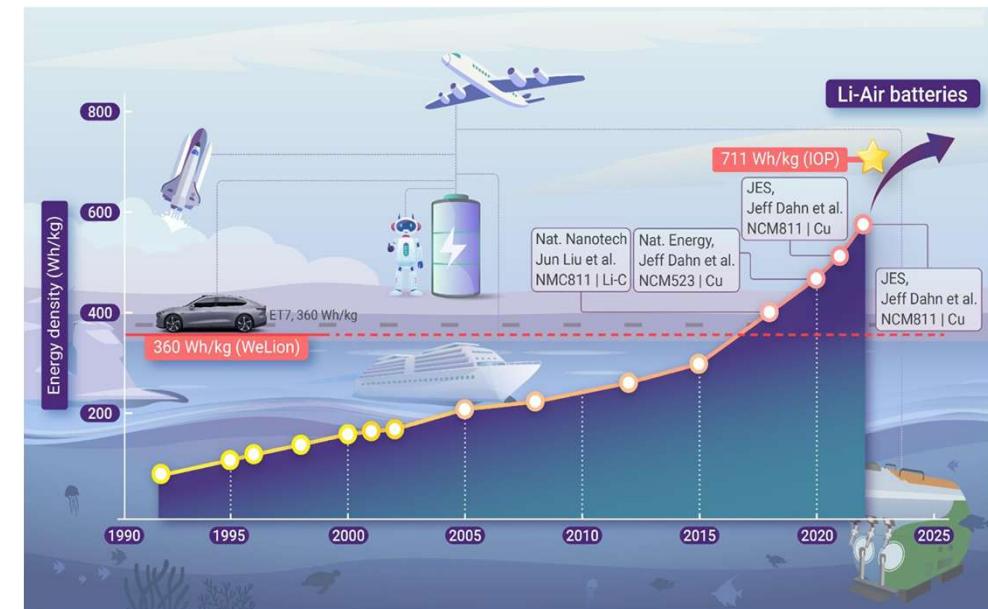
- Paramètres de réseau:**
 - Code de réseau: UTE C 15-712-1(A) >
 - Niveau de tension: 230 V
 - niveau de fréquence: 50 Hz
 - Mode de sortie: L/N >
 - Démarrage automatique après récupération de la grille:
 - Délai de connexion au réseau après récupération du réseau: 60 s >
 - Limite supérieure de tension de reconnexion au réseau: 253,0 V >
 - Limite inférieure de tension de reconnexion au réseau: 195,5 V >
 - Limite supérieure de fréquence de reconnexion au réseau: 51,50 Hz >
 - Limite inférieure de fréquence de reconnexion au réseau: 47,50 Hz >
- Paramètres de protection:**
 - Seuil de protection de résistance d'isolation: 0,050 MΩ >
 - Seuil de tension pour une protection contre les surtensions de 10 minutes: 253,0 V >
 - Seuil de durée pour une protection contre les surtensions de 10 minutes: 200 ms >
 - Seuil de protection contre les surtensions de niveau 1: 264,5 V >
 - Seuil de durée pour une protection contre les surtensions de niveau 1: 200 ms >
 - Seuil de protection contre les sous-tensions de niveau 1: 184,0 V >
 - Seuil de durée pour une protection contre les sous-tensions de niveau 1: 200 ms >
 - Seuil de protection contre les
- Paramètres de fonction:**
 - Balayage multi-crêtes MPPT:
 - Intervalle de balayage multi-crêtes MPPT: 10 min >
 - LVRT:
 - Seuil de courant pour le déclenchement de la protection RCD: 300 mA >
 - HVRT:
 - Arrêt d'interruption de communication:
 - Durée d'arrêt en cas d'échec de la communication: 30 min >
 - Durée de démarrage souple: 20 s >
 - AFCI:
 - Heure de démarrage progressif après une panne de réseau: 600 s >
 - Fonction contact sec: NC >
 - Hibernation nocturne:
 - Délai de mise à niveau:
 - Démarrage rapide pour une déconnexion du réseau de courte durée:
 - Durée pour la détermination de la déconnexion de réseau de courte durée: 3000 ms >
 - Mode hors-réseau:
 - SOC de l'alimentation de secours: 10,0 % >
 - Commutation mode réseau/hors-réseau: Commutation automatique >
 - Modèle de Backup Box: Backup Box-B0/B1 >
- Paramètres de fonction:**
 - AFCI:
 - Heure de démarrage progressif après une panne de réseau: 600 s >
 - Fonction contact sec: NC >
 - Hibernation nocturne:
 - Délai de mise à niveau:
 - Démarrage rapide pour une déconnexion du réseau de courte durée:
 - Durée pour la détermination de la déconnexion de réseau de courte durée: 3000 ms >
 - Mode hors-réseau:
 - SOC de l'alimentation de secours: 10,0 % >
 - Commutation mode réseau/hors-réseau: Commutation automatique >
 - Modèle de Backup Box: Backup Box-B0/B1 >
- Réglage de la puissance:**
 - Programmation de l'alimentation à distance:
 - Validité des instructions de planification: 0 s >
 - Puissance apparente maximale: 3,680 kVA >
 - Puissance active maximale: 3,680 kW >
 - Éteindre lorsque la limite de sortie atteint 0 %:
 - Gradient de variation de la puissance active: 125,000 %/s >
 - Réduction de la puissance active en valeur absolue (W): 3680 W >
 - Réduit par le % de puissance active (0,1 %): 100,0 % >
 - Gradient de variation de la puissance réactive: 125,000 %/s >
 - Heure d'ajustement de la puissance réactive: 10 s >
 - Facteur de puissance: 1,000 >
 - Compensation de

Stockage Li-Ion : évolutions prix et densité énergétique

Understanding the complexities of lithium-ion battery pricing is crucial



Baisse importante des prix : (nouvelles technos batteries)
Performances augmentées Li-ion



Exemple actuel: un VE avec **80 kWh** de batterie et 400Wh/kg pèse environ **200 kg**

Impact par kWh stocké Li-ion

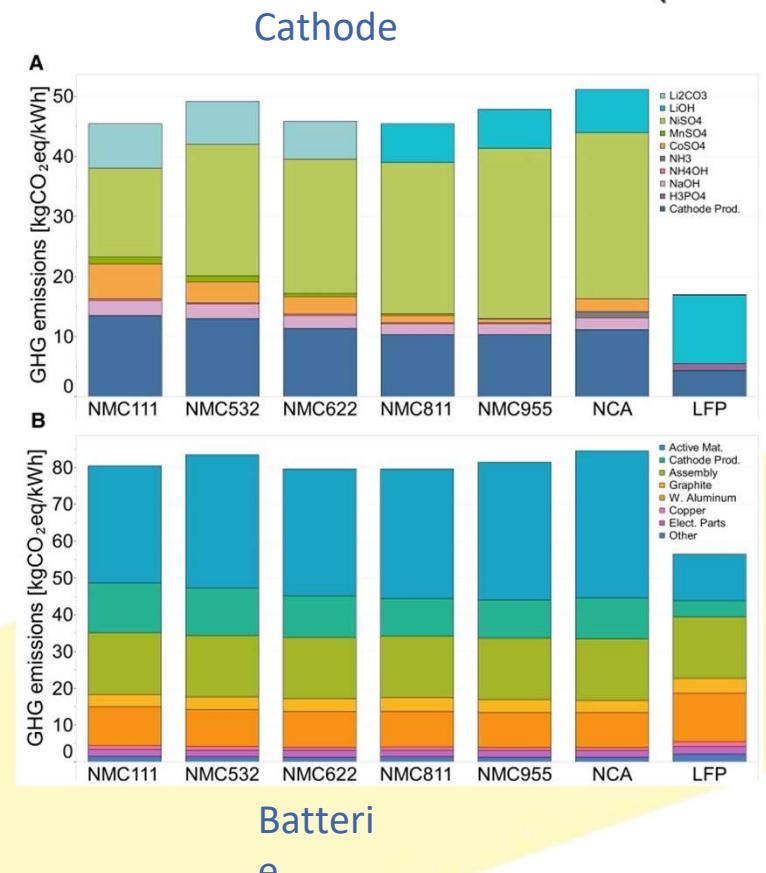
« Impact par kWh stocké

L'étude estime que le stockage ajoute en moyenne **25,6 g CO₂-éq par kWh** d'électricité stocké, auxquels s'ajoute l'impact de base de la production électrique stockée. En stockant par exemple de l'électricité solaire photovoltaïque dont l'impact est d'environ **40 g CO₂-éq/kWh**, on arrive à un total de ~ **65 g CO₂-éq/kWh (production + stockage)**. »

<https://www.pme.ch/publireportage/limpact-co2-des-batteries-de-stockage-un-bilan-nuance-mais-prometteur-810187>

NB: pour APC 2020 , nos calculs de 2018 donnaient :

- plus de 421 grCO₂e/kWh Li-ion
- Prix batterie invest : 480 €/kWh
- Batterie de 1,2 kWh/ charge - décharge à 250W



Sécurité des batteries Li-Ion



Pilotage, contrôle et smart grid pour l'autoconsommation

Ecosystème évolue pour pouvoir communiquer entre les objets / matériels en direct

SMART GRID :

- SGR 'smart grid ready ': consommateurs
- 'Smart meter' – compteur intelligent = communication, GSM: gprs 3G,4G
...
- Mesure = facture mais aussi contrôle
- Vitesse : 14,4 à 86 kbit/s <-> de 0,5s à 1 s = immédiat !!!
- Temps réel et exécutions très rapides
- Besoin pour la sécurité mais aussi pour optimiser ACC
- Communication directe avec les « consommations du site » : PAC, Frigo, Voiture, éclairages



L2EP
Laboratoire d'électrotechnique et
d'électronique de puissance de Lille



AM
VALOR
Arts et Métiers - Sciences et Technologies



Evolutions des fonctions du comptage

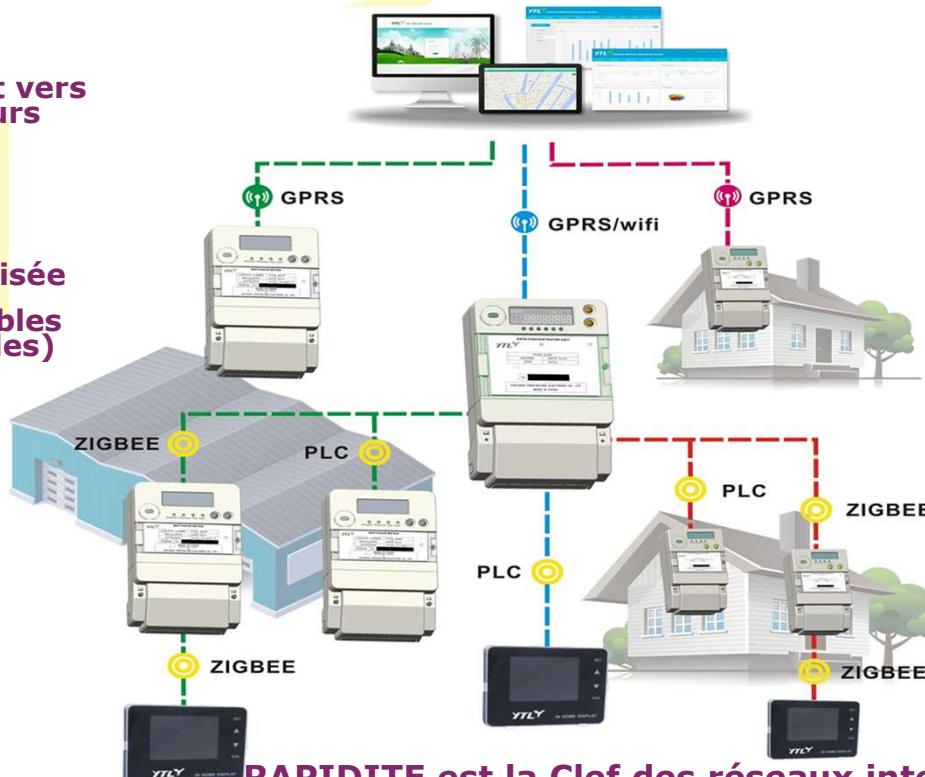
Smart Meter : GPRS direct vers gestionnaire et fournisseurs

Pilotage plus rapide et de fonctions plus complexes

Smart home , smart grid

Autoconsommation optimisée

Données sécurisées et fiables (pas de perturbation locales)



Fluctuation du soleil immédiate donc il faut pouvoir réagir en même temps si on veut optimiser l'autoconso / sécuriser le réseau (Hz, P , Q, U , ...)

GPRS : instantané dans les 2 sens



LINKY : CPL puis GPRS concentrateur poste

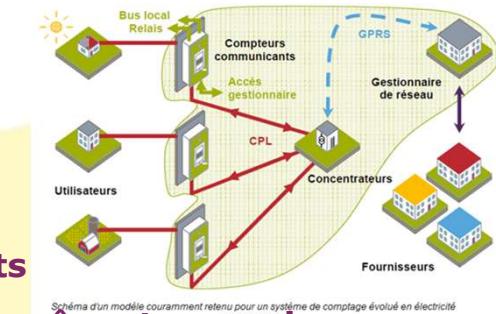
N° compteur

Facturation index 15 min et sécurité panne

Commande simple , M/A chauffe-eau

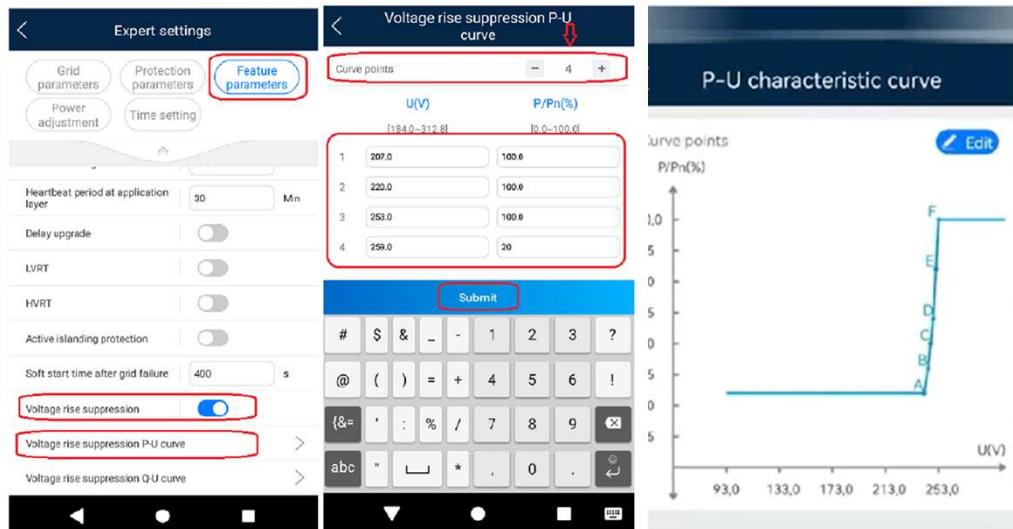
Perturbation du signal de communication sur le réseau filaire local CPL à cause de l'électronique de puissance (onduleur, MAL, Eclairages LED,

CPL: index 15min +15 min =30 minutes pas de calcul de ACC

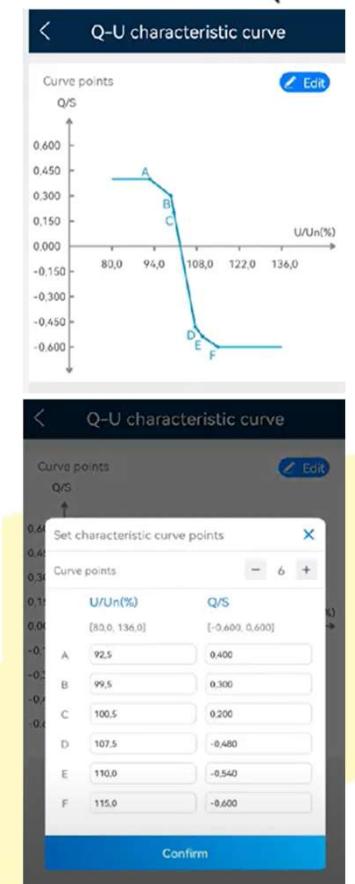
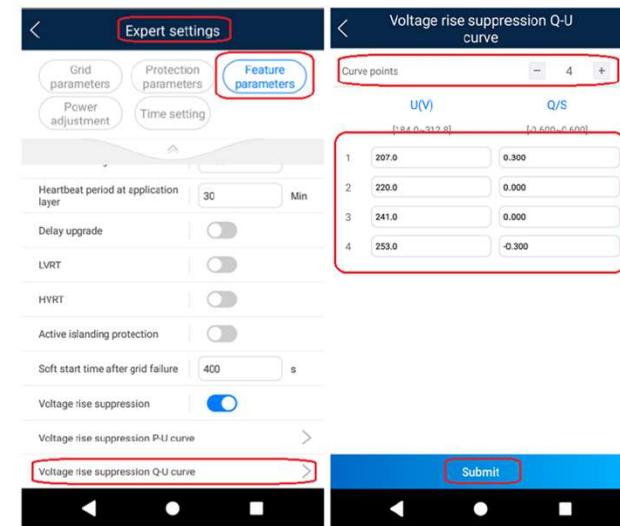


Smart grid: Services de support au réseau

Caractéristique P-U



Caractéristique Q-U



Exemple réel : autoconsommation individuelle

Installation PV + stockage

- **Pc=5800W**
- **PV=Canadian Solar monofacial 580W N-type TOPCon Technology 22,6%**
- **Ond= Huawei 5kW**
- **Inc=45°**
- **Orientation= sud**
- **Batterie=10kWh (5kW charge/décharge)**
- **Backup Box**
- **Autoconsommation 100% sans injection réseau**
- **Optimisation Huawei, maximisations l'autoconsommation**

Consommation principale maison

- **Maison , performante (max 50kWh/m²/an conso totale)**
- **PAC multi split + (un groupe extérieur, jusqu'à quatre unités intérieures et un ballon d'ECS), classe A+++ (SEER 9,25 et SCOP 5,2).**
- **Frigo, congélateurs (mode inverter)**
- **Éclairage A+++**
- **Pilotage et contrôle des systèmes**
- **Puissance en veille 28W.**
- **Possibilité de l'intégration de borne de recharge VE pilotable**



L2EP
Laboratoire d'électrotechnique et
d'électronique de puissance de Lille

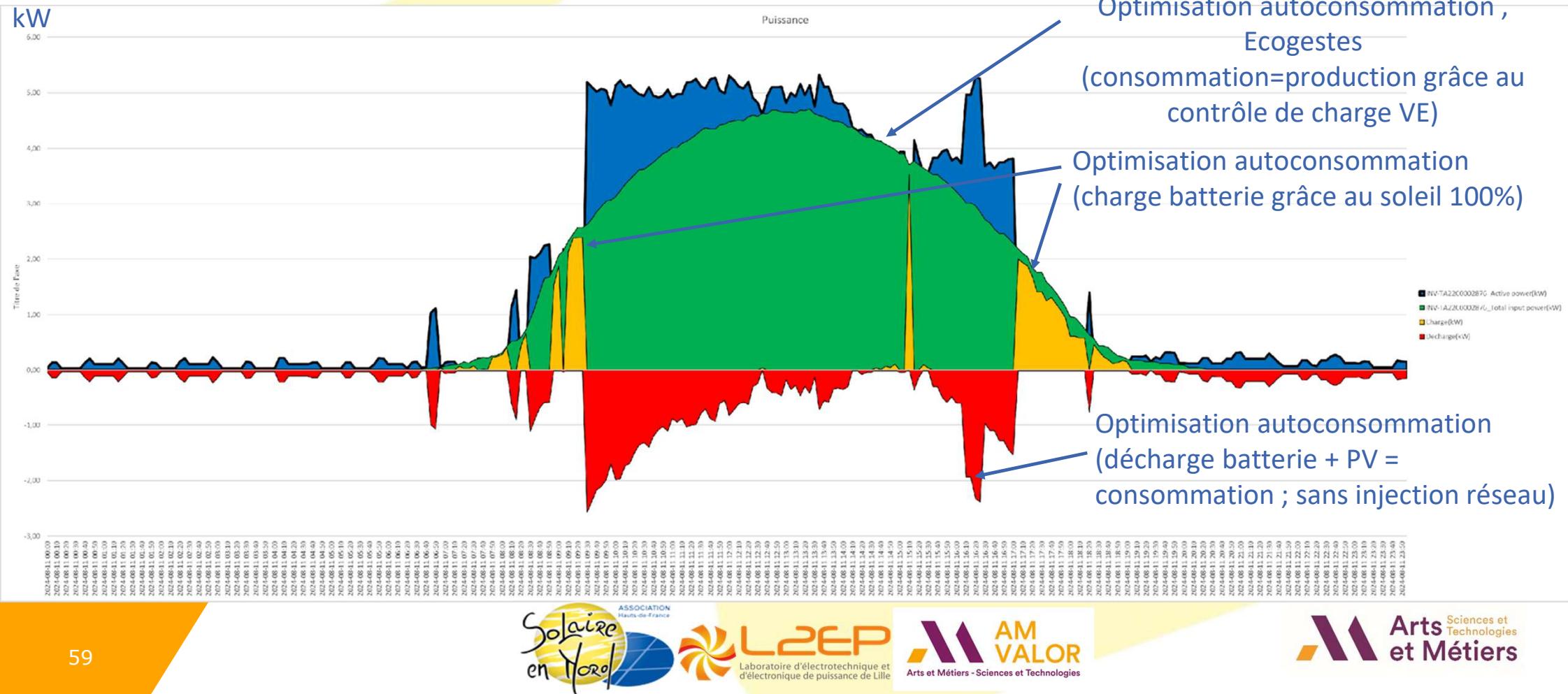


AM
VALOR
Arts et Métiers - Sciences et Technologies



Résultats autoconsommation individuelle

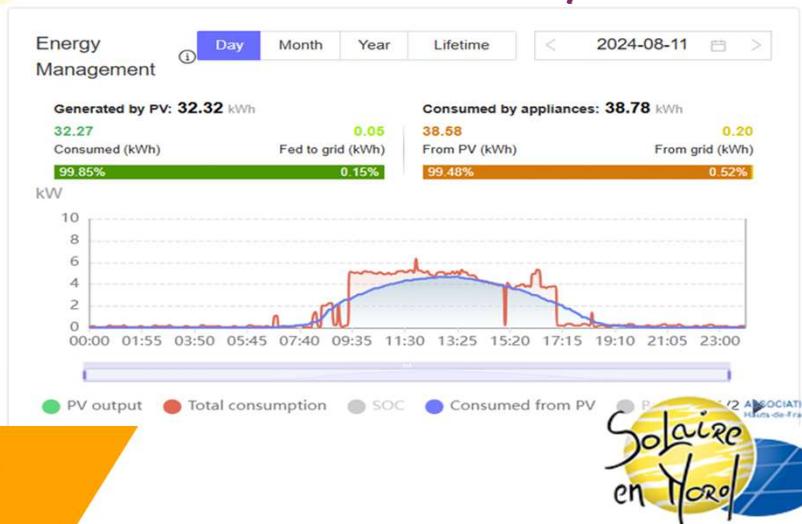
99,48%



Résultats autoconsommation individuelle jour analysé et annuelle

ACI - Jour analysé

- **Conso maison: 38,78 kWh**
- **Prod : 32,32 kWh**
- **Prod + Stockage:38,58 kWh**
- **Conso réseau: 0,2 kWh**
- **Autoconsommation 99,48%**



60

ACI – Annuelle

- **Conso maison: 4,32MWh**
- **Prod : 4,27 MWh**
- **Prod + Stockage:4,16 MWh**
- **Conso réseau: 165,5 kWh**
- **Autoconsommation 96,17%**
- **1,71 tons charbon réduit**
- **2,03 tons CO2 réduit**
- **Plus de 1000€ gains (rentabilité system 8 ans)**



L2EP
Laboratoire d'électrotechnique et
d'électronique de puissance de Lille



AM VALOR
Arts et Métiers - Sciences et Technologies



Arts et Métiers
Sciences et Technologies

Analyse PV bifacial



Installation Monofacial

- **Pc=5800W (15% plus)**
- **PV=Canadian Solar monofacial 580W N-type TOPCon Technology 22,6%**
- **Inc=45° (optimisation hiver)**
- **Orientation= sud**
- **Ond= Huawei 5kW**
- **Site geo**
- **installation au sol PV**
- **Autoconsommation 100% sans injection réseau**

Installation Bifacial

- **Pc=5050W**
- **PV=Canadian Solar Bifacial 505W N-type TOPCon 26,8%(avec 20% bifacial), bifacial ratio 80%**
- **Inc=45° (optimisation hiver)**
- **Orientation= sud**
- **Ond= Huawei 5kW**
- **Site geo**
- **installation au sol PV**
- **Autoconsommation 100% sans injection réseau**



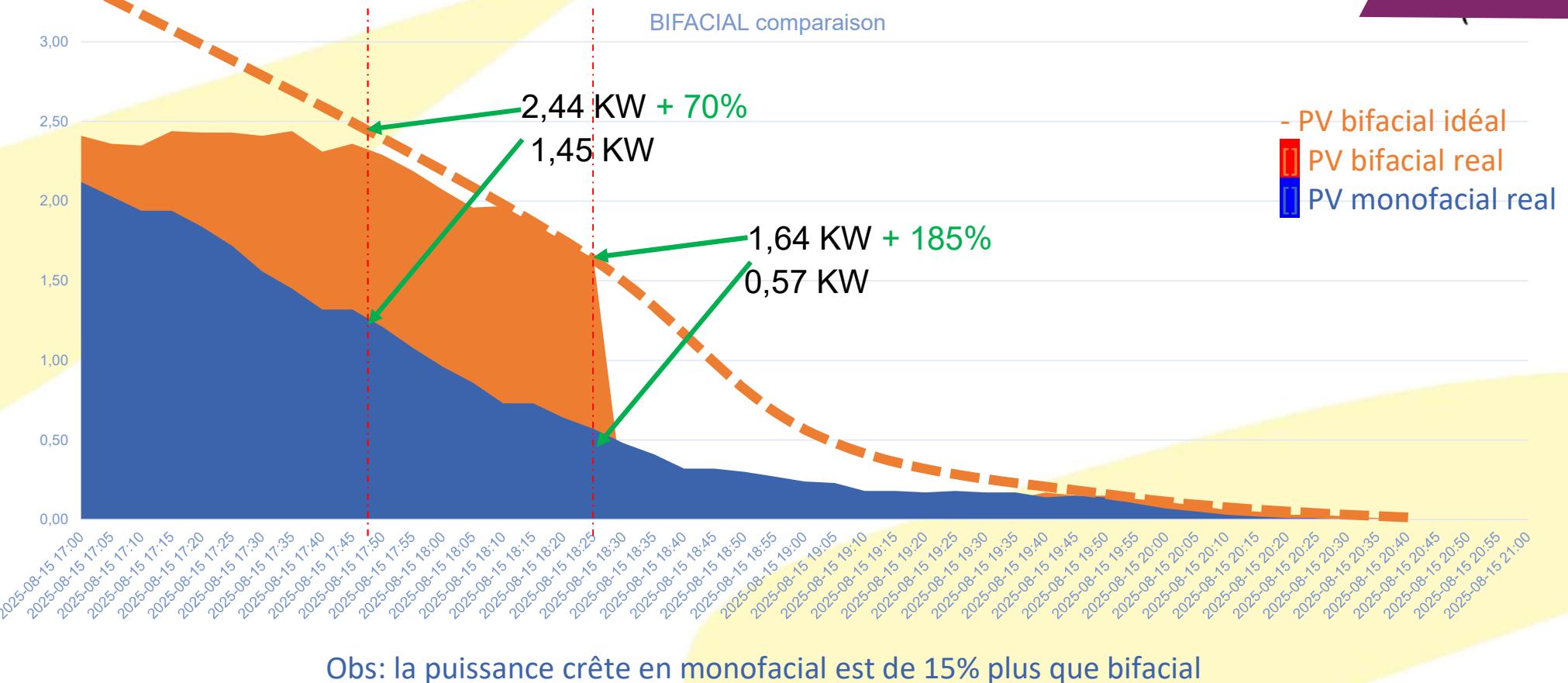
L2EP
Laboratoire d'électrotechnique et
d'électronique de puissance de Lille



AM
VALOR
Arts et Métiers - Sciences et Technologies

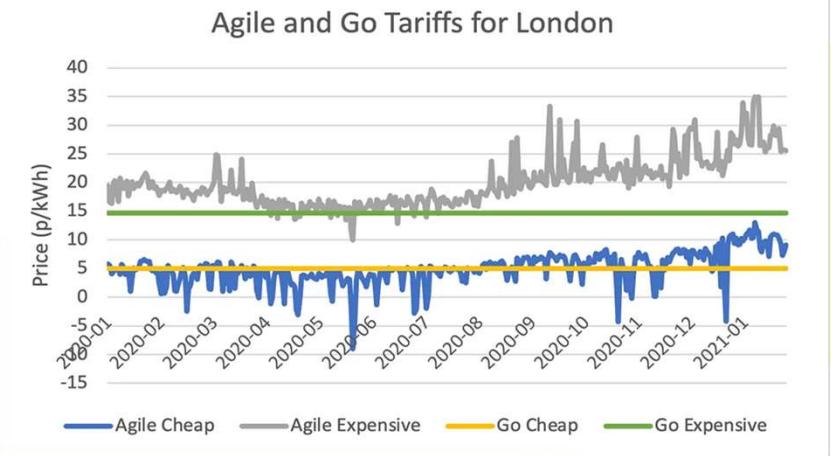
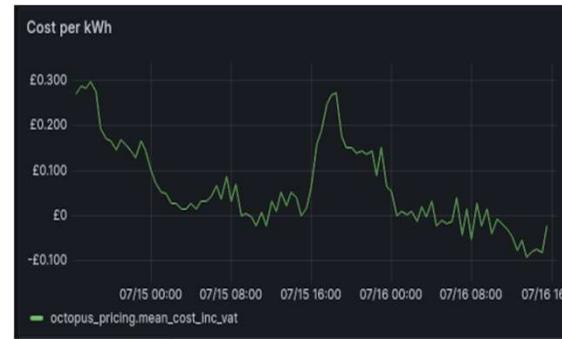
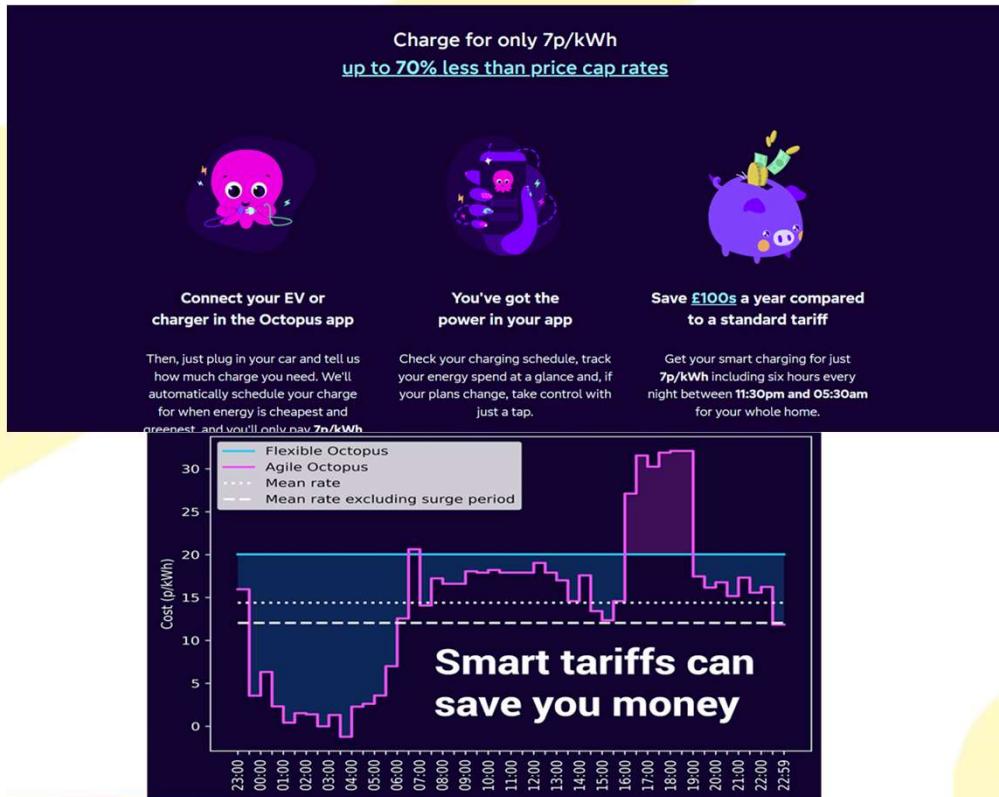


Résultats comparaison bifacial gains



Prix dynamique UK/UE

Optimisation tarifaire grâce au système photovoltaïque et stockage



Negative Pricing 30 minutes slots

Energy Stats UK

Agile Intelligent Go Go Cosy Tracker Flux Intelligent Flux Shape Shifters Business Octopus Outgoing Export Blog Entries

Negative Pricing 30 minutes slots on Agile since February 2018

Agile Negative Pricing

Time	Price per unit (p)
07-09-2025 15:00:00	-0.5
07-09-2025 14:00:00	-2.5
07-09-2025 13:30:00	-2.6
07-09-2025 13:00:00	-1.4
07-09-2025 12:30:00	-2.9
07-09-2025 12:00:00	-4.4
07-09-2025 11:30:00	-3.9
07-09-2025 11:00:00	-1.6
07-09-2025 10:30:00	-0.1
07-09-2025 10:00:00	-0.9
07-09-2025 09:00:00	-0.4
06-09-2025 23:30:00	-0.5
31-08-2025 14:00:00	-0.9
31-08-2025 12:00:00	-0.4

<https://energy-stats.uk/agile-price-plunges/>



Recherches actuelles pour augmenter Autoconsommations

Nouveaux panneaux: nouvelle cellules

Nouveaux degrés de réglages

Smartgrid :

- Pilotage par le gestionnaire de réseau et par les système photovoltaïque locaux des consommations/production pour des services support au réseau électrique
- Intégration progressive du tarif dynamique
- Fonctionnement hors réseau (off-grid) et appuis au redémarrage du réseau après un défaut

Smart-charging : Mobilité électrique comme nouveau moyen de stockage V2G / V2H / V2L

Nouvelles stratégies supervisées par Intelligence Artificielle (AI) :sécurité Stockage électrique et thermique (chaud / froid-PAC)

Usages et usagers plus engagés :

- Ecogestes, Communauté énergétique , micro-grid , association de 'prosummers'



MERCI DE VOTRE ECOUTE

ECHANGES – CONTACTS

Daniel MARIN: daniel.marin@ensam.eu

Thomas ROILLET: thomas.roillet@ensam.eu



Equipe réseau
Smart Grid
Mobilité électrique



Suite du programme – 20 ans



Visite démonstrateur - ENSAM

Jeu. 11 sept. 2025 à 14h30

École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Boulevard Louis XIV, Lille, France

Le laboratoire L2EP de l'ENSA possède un démonstrateur photovoltaïque pour recharger des véhicules électriques



Visite projet citoyen du Bazaar St-So

Jeu. 11 sept. 2025 de 14h30 à 15h30

Bazaar St So, Rue Camille Guérin, Lille, France

Un installation de 36 kWc portée par SOLIS Métropole, financée par les habitants du coin injecte toute sa production décarbonée sur le réseau de Lille



Showroom enecsol

Jeu. 11 sept. 2025 à 17h00

ENECSOL, London Park, Rue de Londres, Lille, France

Installation de 94 kWc raccordée avec plusieurs marques d'onduleurs et showroom de différents panneaux photovoltaïques



En septembre,
en Hauts-de-France
Visites découvertes
d'installations solaires :
thermique, photovoltaïque,
stockage, low tech

Projets collectifs citoyens

démonstrateurs solaires

11/09/2025

Solaire en Nord - 20 ans

Suite du programme – 20 ans



2005
20 ans
2025

**Samedi 13 septembre 2025
à Lille**

Témoignage inspirant

**Énergie solaire, low tech,
en route vers l'autonomie
énergétique ?**

Par l'inventeur et vidéaste
Barnabé Chaillot

Suivi d'une séance
de dédicaces

Solaire en Nord
ASSOCIATION Hauts-de-France

Région Hauts-de-France

MEL

SOLIS METROPOLE • COOP

enercoop L'énergie militante

11/09/2025

Solaire en Nord - 20 ans



Merci pour votre participation et votre soutien !

