

ANALYSE DU CYCLE DE VIE DE CAS D'USAGES DE DEVELOPPEMENT DE STOCKAGE D'ELECTRICITE

Autoconsommation photovoltaïque
avec ou sans batterie dans un bâtiment
résidentiel ou tertiaire

SYNTHESE
Cas de la Réunion

Octobre 2025



EXPERTISES

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2023AC000008

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Artelys et Gingko21

Coordination technique - ADEME : SAUZE Marie et SACHER Pierre

Direction/Service : DBER/PEPIT et DBER/SERR

SOMMAIRE

1. Contexte	4
2. Objectifs et Approches	5
2.1. Approche de modélisation électrique	5
2.2. Approche ACV	5
2.3. Présentation des systèmes étudiés	6
3. Résultats principaux – Modélisation électrique	7
4. Résultats principaux – Modélisation ACV	8
4.1. Focus sur les particules fines	8
4.2. Focus sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques	9
4.3. La Réunion – Comparaison des systèmes par les indicateurs pertinents	10
5. Principales conclusions de l'étude	11
5.1. Limites	11
5.2. Recommandations.....	11

1. Contexte

La France s'appuie fortement sur le développement des énergies renouvelables pour atteindre ses objectifs de neutralité carbone, en métropole comme dans les territoires d'outre-mer. La production solaire photovoltaïque et éolienne intermittente nécessite la mise en place de solutions de flexibilité pour assurer l'équilibre du système électrique. Parmi ces solutions, le stockage par batteries connaît un développement particulièrement important.

L'autoconsommation individuelle électrique consiste à produire de l'électricité et à la consommer totalement ou en partie directement sur le site de production, plutôt que de l'acheter à un fournisseur d'électricité. Le surplus non autoconsommé est injecté sur le réseau public. En France, l'autoconsommation est principalement réalisée avec de la production électrique photovoltaïque (PV). Au T2 2025 dans l'Hexagone, le PV en autoconsommation individuelle représentait 4 714 MW raccordés au Réseau Public de Distribution d'Enedis. Une dynamique d'installation du PV en autoconsommation est constatée en Martinique. L'ajout d'un **système de stockage** sous forme de batterie Li-ion est un moyen de stocker l'énergie excédentaire qui n'est pas consommée immédiatement et la restituer lorsque la production solaire est faible voire nulle, la nuit et lors des journées faiblement ensoleillées. Dans l'Hexagone, 2% des installations photovoltaïques d'autoconsommation individuelles sont associées à des moyens de stockages en 2024 (Enedis, 2024). Ce type de stockage reste donc actuellement rare en France mais le modèle économique de leur déploiement s'améliore rapidement, avec un fort déploiement dans d'autres pays européens.

Cette synthèse présente les résultats d'une analyse de cycle de vie (ACV) visant à évaluer les impacts environnementaux de l'autoconsommation avec stockage, en fonction du type de bâtiment (résidentiel ou tertiaire), tout en tenant compte des spécificités du système électrique et des technologies de stockage. Dans ce document, les résultats sont présentés pour le périmètre géographique de la Réunion. L'étude a aussi été réalisée sur les périmètres géographiques de France hexagonale (Hexagone), en zone climatique H3 (côte méditerranéenne) et de la Martinique.

Cette étude a été réalisée dans une logique comparative pour mieux comprendre les effets de l'autoconsommation avec stockage sur les différents systèmes électriques.

Le document complet de l'étude est disponible au sein de la librairie ADEME.

2. Objectifs et Approches

L'objectif est de mesurer l'impact environnemental de l'ajout d'un système de stockage associé au développement de l'autoconsommation pour plusieurs types de bâtiments (résidentiel ou immeuble de bureaux) dans une zone géographique donnée, la côte méditerranéenne. Pour cela, des systèmes d'autoconsommation sont modélisés comme installation additionnelle, à la marge d'un mix énergétique de référence pour chacun des périmètres étudiés. Les résultats de la modélisation électrique sont les entrées d'un modèle d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) du système.

2.1. Approche de modélisation électrique

La modélisation des systèmes électriques se déroule en quatre étapes :

1. Modélisation des mix de production électrique prospectifs à l'horizon 2025 ;
2. Construction des courbes de charge pour les différents bâtiments et systèmes au pas de temps horaire pour l'année 2025 ;
3. Dimensionnement des actifs de production et de stockage en entrée de modélisation ;
4. Réalisation des simulations via Artelys Crystal Super Grid, et analyse des résultats.

2.2. Approche ACV

A partir de la modélisation électrique, l'ACV permet de quantifier les impacts environnementaux associés aux différentes solutions d'autoconsommation, en intégrant notamment la variation de production et consommation locale d'électricité, le stockage centralisé, les panneaux photovoltaïques et les batteries de stockage.

Les calculs ont été réalisés avec SimaPro et la base Ecoinvent 3.10, selon la méthode Environmental Footprint 3.1 (EF 3.1) recommandée par la Commission Européenne.

L'Unité Fonctionnelle (UF) est une unité de service, commune aux différents scénarios comparés permettant d'assurer la comparaison de solutions répondant au même service rendu. Elle est définie comme :

« Fournir l'électricité à un bâtiment avec système d'autoconsommation, à toute heure pendant l'année 2025. L'étude caractérise seulement les impacts apportés par l'ajout du système d'autoconsommation »

Les résultats présentés, que ce soit en sortie de la modélisation électrique ou de l'ACV, sont en différentiel entre la situation *avec* système d'autoconsommation et *sans* système d'autoconsommation, s'affranchissant de la partie commune entre les deux systèmes (production commune des centrales électriques, transformation, distribution, etc.) qui n'est pas évaluée dans le détail. L'approche différentielle permet de répondre à l'objectif de l'étude, comparer les situations *avec* et *sans* système d'autoconsommation, par une modélisation plus légère, sans l'infrastructure de production et du réseau qui sont communs pour tous les systèmes.

La production d'électricité impactée par la différence entre les systèmes d'autoconsommation et la référence (sans système d'autoconsommation) a été déterminée par la centrale marginale selon l'ordre de mérite, à chaque pas de temps horaire : en conséquence, l'ACV suit une approche « conséquentielle court terme » plus qu'attributionnelle.

Le travail a été vérifié par une revue critique pour vérifier la cohérence des hypothèses avec la réalité du marché et des systèmes d'énergie et le respect de la norme ISO 14040-14044. Leur rapport se trouve dans le rapport complet de l'étude.

2.3. Présentation des systèmes étudiés

Plusieurs périmètres sont étudiés : un bâtiment résidentiel et un bâtiment tertiaire. Dans chacun des périmètres, trois systèmes énergétiques (0), (1), (2) sont comparés, par différence avec la référence (0) :

- (0) Système de référence sans équipement d'autoconsommation qui constitue le système de référence, soustrait à tous les autres résultats pour effectuer l'analyse différentielle.
- (1) Autoconsommation grâce à l'installation de panneaux solaires PV. Les panneaux solaires permettent au bâtiment de produire localement une partie de l'électricité consommée. Le surplus de production solaire est réinjecté sur le réseau. Lorsque la production PV est insuffisante, le bâtiment consomme l'électricité directement depuis le réseau.
- (2) Autoconsommation grâce à l'installation de panneaux solaires PV avec un système de stockage (batterie) qui permet de stocker le surplus de production solaire et de la fournir au bâtiment lorsque la production solaire est nulle. Cela peut avoir un intérêt économique pour le consommateur en fonction de la structure tarifaire de l'électricité. La batterie ne soutire pas sur le réseau électrique pour se charger.

3. Résultats principaux – Modélisation électrique

La modélisation électrique a pour but de quantifier l'impact sur le réseau électrique du système d'autoconsommation électrique. La production électrique a été modélisée à partir du mix scénario Azur pour l'année 2025 du BP23 de EDF SEI (EDF SEI, BILAN PREVISIONNEL de l'équilibre offre-demande d'électricité à La Réunion 2023 - 2028, 2023).

Le dimensionnement considéré pour chaque système ainsi que le résultat concernant l'énergie évitée est présenté ci-dessous. La production évitée est calculée comme le différentiel entre la consommation électrique issue du réseau du système considéré et celle du système de référence.

Bâtiment	Résidentiel - A		Tertiaire - B	
	PV (1)	PV + Batterie (2)	PV (1)	PV + Batterie (2)
Dimension PV	6 kWc	6 kWc	53 kWc	53 kWc
Dimension batterie	-	10 kWh	-	80 kWh
Consommation du bâtiment (MWh/an)	4,9	4,9	91,1	91,1
Nombre de cycles effectués par la batterie	-	339	-	174
Production électrique évitée (MWh)	-7	-7	-68,4	-67,3

Tableau 1 - Dimension des systèmes modélisés et résultats de la modélisation

La production évitée dans la zone géographique de La Réunion est de l'électricité produite à partir de biodiesel importé d'Europe pour les deux typologies de bâtiments. Ce moyen de production étant marginal sur toute période dans le mix modélisé, l'ajout d'une batterie au système ne modifie pas le type de production évitée. Pour le bâtiment tertiaire, on constate que les systèmes avec batteries permettent d'éviter moins de production marginale que les systèmes sans batteries. Cela est explicable par deux facteurs : d'une part, on injecte moins d'énergie au total avec le système PV + batterie car une partie de l'énergie est perdue à cause du rendement des batteries. D'autre part, les modélisations montrent que le fait de stocker de l'énergie dans la batterie (énergie qui n'est donc plus injectée dans le réseau) ne permet pas de réduire l'écrêtement sur d'autres centrales PV à d'autres endroits du réseau, ce qui aurait pu augmenter la production évitée par rapport au cas d'autoconsommation sans batterie.

4. Résultats principaux – Modélisation ACV

Cette partie a pour but d'examiner les impacts environnementaux pertinents pris séparément. Les 2 indicateurs d'impact présentés dans cette synthèse représentent des profils d'autres indicateurs d'impact qui sont présentés dans le rapport complet de façon plus détaillée.

4.1. Focus sur les particules fines

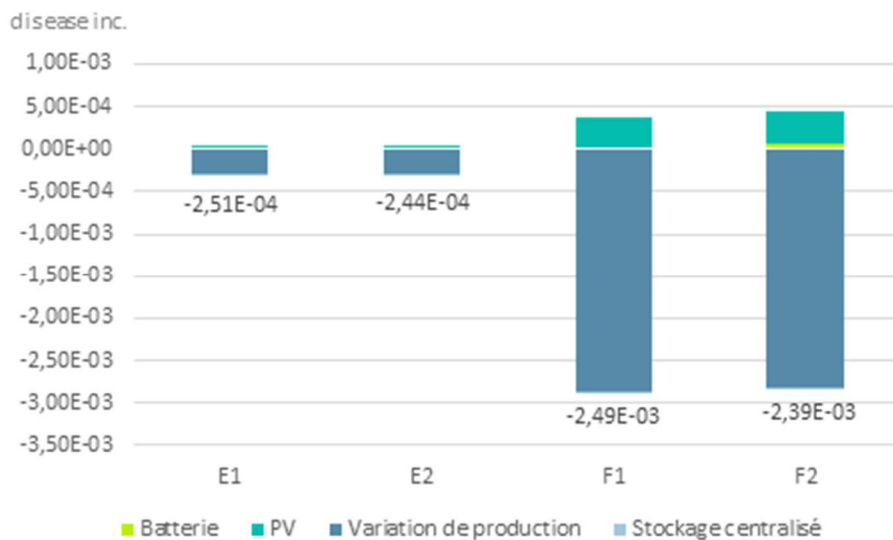


Figure 1 – Contribution différentielle (par rapport au mix réseau) à l'indicateur effets des particules fines (disease inc.) à La Réunion

Tous les cas d'autoconsommation permettent une réduction des impacts sur les particules fines par rapport au système de référence.

La réduction des impacts de tous les scénarios étudiés sur les particules fines est étroitement liée à l'évitement du biodiesel consommées. Les impacts des installations des batteries et des systèmes PV sont minoritaires par rapport au gain de l'évitement de la production d'électricité.

Pour les deux types de bâtiments, les écarts entre système photovoltaïque seul, ou avec batterie, ou avec batterie pilotée, restent faibles. Le bénéfice environnemental reste donc similaire quel que soit le système d'autoconsommation étudié.

La tendance observée sur les particules fines lors de la comparaison des scénarios s'applique également aux impacts environnementaux suivants : le changement climatique, l'acidification des sols et de l'eau, l'eutrophisation terrestre, l'occupation des sols, l'épuisement des ressources fossiles, l'eutrophisation marine et formation d'ozone troposphérique.

Conclusion sur les particules fines, le changement climatique, l'acidification des sols et de l'eau, l'eutrophisation terrestre, l'occupation des sols, l'épuisement des ressources fossiles, l'eutrophisation marine et formation d'ozone troposphérique : tous les systèmes montrent des bénéfices environnementaux par rapport au système de référence, principalement liés à la production PV qui vient se substituer à des sources de production d'électricité utilisant du biodiesel.

4.2. Focus sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques

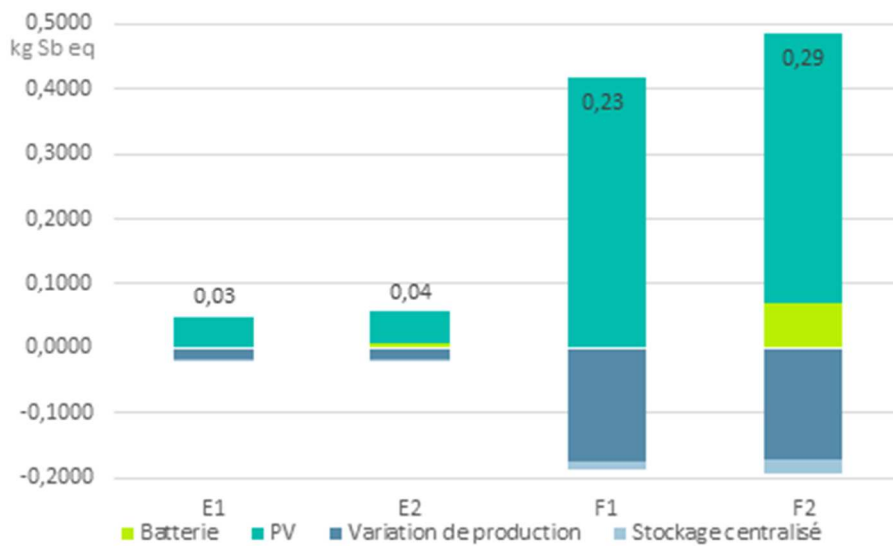


Figure 2 – Contribution différentielle (par rapport au système de référence) à l'indicateur épuisement des ressources minérales et métalliques (kg Sb eq). Les nombres correspondent à la somme des impacts positifs et négatifs.

Tous les cas d'autoconsommation présentent des impacts plus élevés que la référence sur l'indicateur d'épuisement des ressources minérales et métalliques.

Ce résultat s'explique par la quantité importante de matériaux nécessaires à la fabrication des panneaux photovoltaïques et des composants électroniques des batteries. En effet, par rapport au système avec autoconsommation sans batterie, l'ajout d'une batterie augmente ce transfert d'impact, en raison de la présence accrue de métaux spécifiques au stockage.

Conclusion sur les ressources minérales et métalliques : les impacts environnementaux sont plus importants dans les systèmes d'autoconsommation que dans le système de référence et augmentent légèrement avec l'installation d'une batterie.

4.3. La Réunion – Comparaison des systèmes par les indicateurs pertinents

La Figure 3 ci-dessous compare les impacts des deux différentiels des systèmes autoconsommation PV, et PV + batterie par rapport au mix réseau pour le cas d'usage résidentiel (E1, E2). Les résultats de l'ensemble des indicateurs d'impacts sont rapportés à la base 100 en fonction de E1.

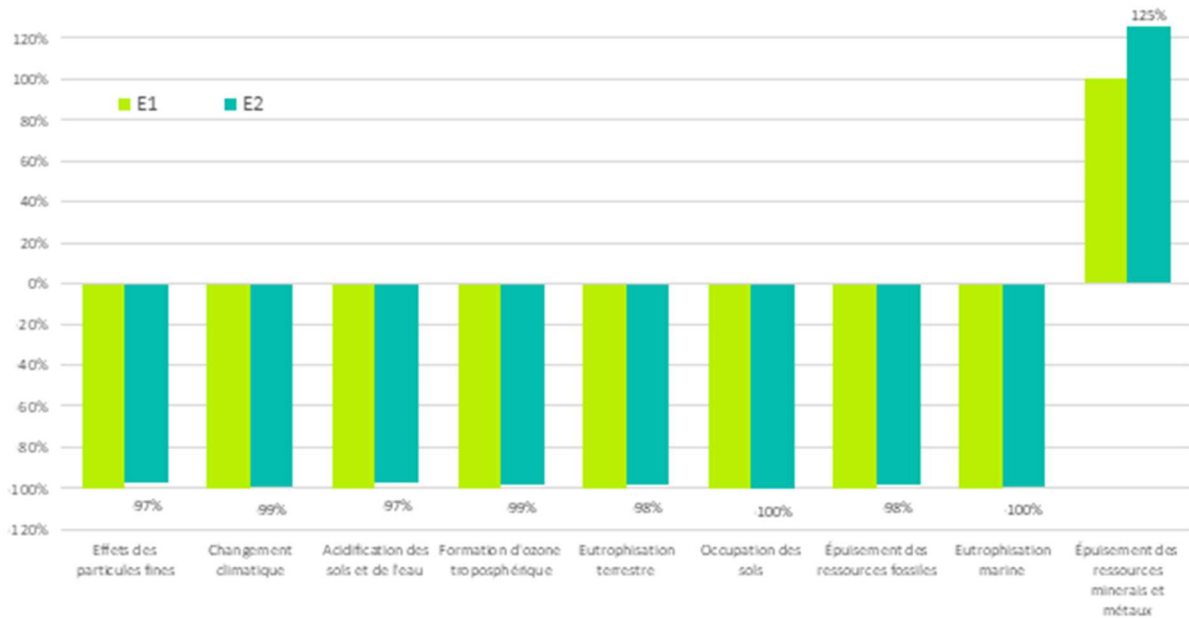


Figure 3 – Comparaison des impacts pertinents des systèmes d'autoconsommation résidentiels à La Réunion

On observe un transfert d'impact vers l'épuisement des ressources minérales et métalliques qu'occasionnent les deux systèmes d'autoconsommation. De plus il y a un effet néfaste de l'ajout de la batterie à La Réunion.

Les mêmes tendances des impacts environnementaux sont observées sur les résultats des cas d'usage tertiaires.

Éclairage par le Score Unique

Les résultats du score unique mettent en évidence que les systèmes d'autoconsommation résidentiels et tertiaires présentent un bilan environnemental globalement favorable par rapport au système de référence. Toutefois, les panneaux PV ainsi que par l'ajout d'une batterie entraînent un transfert d'impact vers l'épuisement des ressources minérales et métalliques. Le score ne permet pas de trancher clairement entre les deux configurations : l'ajout de la batterie n'apporte pas de bénéfice environnemental significatif par rapport au photovoltaïque seul.

5. Principales conclusions de l'étude

Dans tous les cas d'usage d'autoconsommation résidentielles et tertiaires à La Réunion, les systèmes d'autoconsommation (1) [photovoltaïque seul] et (2) [photovoltaïque + batterie] permettent une réduction des impacts environnementaux sur tous les indicateurs pertinents, sauf sur *l'épuisement des ressources minérales et métalliques* qui se dégrade. Il s'agit donc d'un transfert d'impact.

A la Réunion, l'autoconsommation photovoltaïque, avec ou sans batterie, constitue une option environnementalement favorable dans tous les contextes étudiés, avec un effet positif sur les principaux impacts liés à la production d'électricité à base de biodiesel. Toutefois, l'usage de batteries doit être envisagé avec prudence, du fait du transfert d'impact vers les ressources minérales et métalliques.

Ajouter une batterie (2) diminue cette amélioration du fait du rendement de la batterie qui diminue la production évitée.

Le score unique de EF, utilisé pour éclairer la balance globale des valeurs positives et négatives des différentes catégories d'impact, pose le jugement d'un bilan favorable à l'environnement pour tous les systèmes d'autoconsommation, sans les différencier clairement.

5.1. Limites

Parmi les limites importantes de la modélisation mise en œuvre, on citera qu'une seule année climatique a été modélisée, que l'incertitude relative aux calculs et résultats d'Artelys Crystal Super Grid ne sont pas estimables dans les calculs d'incertitudes ACV. Enfin, cette étude, menée dans un cadre consécutif court terme, présente des résultats liés à l'ajout de systèmes d'autoconsommation sur un seul bâtiment à la fois : les conclusions ne peuvent pas être extrapolées à un développement massif des systèmes étudiés et ne sont donc pas suffisantes pour orienter un choix de politique publique à grande échelle. L'étude permet de pointer les transferts d'impact en jeu avec le développement de photovoltaïque en autoconsommation individuelle, avec ou sans batterie.

5.2. Recommandations

Il est recommandé de poursuivre les efforts de recherche et d'innovation, entre autres sur l'efficacité des panneaux solaires, l'optimisation de l'électronique associée (onduleurs, convertisseurs), l'augmentation de la densité énergétique et de la durabilité des batteries, l'intégration de matériaux recyclés dans la fabrication.

À mesure que la part d'énergies renouvelables variables augmente dans les mix électriques, la batterie pourrait permettre une meilleure valorisation de l'énergie solaire, en limitant les pertes dues à l'écrêtement (non constaté dans cette modélisation) d'installations photovoltaïques à d'autres endroits sur le réseau électrique grâce au décalage via le stockage du PV résidentiel/tertiaire en autoconsommation. Toutefois, un mix avec plus d'énergies renouvelables pourrait réduire l'impact évité concernant les sources fossiles.

Une étude complémentaire intéressante pourrait consister à simuler un déploiement à grande échelle de l'autoconsommation (avec ou sans batterie Li-ion), par exemple sur 10 % du parc résidentiel en maisons individuelles, afin d'évaluer ses effets systémiques sur l'environnement et le réseau électrique.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, du ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



EXPERTISES

AUTOCONSOMMATION PHOTOVOLTAÏQUE AVEC OU SANS BATTERIE DANS UN BATIMENT RESIDENTIEL OU TERTIAIRE

L'objectif de ce cas d'étude est d'étudier l'impact environnemental de l'ajout d'un système de production d'énergie photovoltaïque en autoconsommation, avec ou sans système de stockage associé, pour un bâtiment. Deux types de bâtiments sont étudiés : pavillon résidentiel ou immeuble de bureaux, dans différentes zones géographiques (la métropole, étudiée ici en côte méditerranéenne – zone climatique H3 –, la Martinique et La Réunion). Il n'est pas question ici de modéliser le développement de l'autoconsommation à l'échelle d'un parc de bâtiments : seul un bâtiment unitaire est modélisé.

Dans tous les cas d'usage d'autoconsommation résidentiels et tertiaires, qu'ils soient en zone métropolitaine en zone H3, à La Martinique et à La Réunion, les systèmes d'autoconsommation [photovoltaïque seul] et [photovoltaïque + batterie] permettent une réduction des impacts environnementaux sur tous les indicateurs pertinents, sauf sur l'épuisement des ressources minérales et métalliques qui se dégrade. Il s'agit donc d'un transfert d'impact.