

PROJET IMPROVEMENT - PRODUCT 1.6.2. PROJETS D'IMPLÉMENTATION

Résumé

Ce document contient les informations nécessaires à la réalisation du *Produit 1.6.2. Plans d'implémentation*, qui comprend des stratégies régionales et transnationales sous la forme d'une feuille de route, destinés aux différentes autorités et aux décideurs des régions SUDOE. Le contenu de ce document est basé sur le *Livrable 1.5.3. Plans d'implémentation*, avec des informations détaillées, qui a été rédigé en tenant compte des résultats de différentes tâches du projet IMPROVEMENT effectuées et qui a été fourni à différents bénéficiaires, sur les livrables et les questionnaires spécifiques préparés pour le projet.

Sommaire

Acronymes.	5
1. Objectif du document.	6
2. Résultats des expériences pour le projet IMPROVEMENT dans les usines pilotes et les laboratoires d'essais.	10
Usine pilote CNH2.	10
<i>UCO et UCLM Système de contrôle de l'énergie ou des micro-réseaux avec des exigences élevées en matière de qualité de l'énergie.</i>	16
Usine pilote LNEG.	18
<i>Modèles UPVD et ENSMA pour la gestion et la prévision de l'énergie dans le bâtiment pilote du LNEG.</i>	21
3. Recommandations et propositions.	26
Les aspects relatifs à la construction.	26
Les aspects liés aux technologies et aux équipements.	29
<i>Aspects technique.</i>	29
<i>Aspects de la légalisation, de l'accréditation et de la normalisation des micro-réseaux et de leurs composants.</i>	31
<i>Aspects liés au financement et au soutien publics.</i>	32
<i>Aspects environnementaux.</i>	33
4. Feuille de route pour l'implémentation du projet IMPROVEMENT.	35
Feuille de route pour la légalisation des NZEB avec les micro-réseaux d'énergie et les charges critiques.	35
Feuille de route pour la certification du système IMPROVEMENT.	38
5. Conclusions, leçons tirées et potentiel du système IMPROVEMENT.	45
Cadre réglementaire et financier international favorable actuel.	45
Niche pour le développement de nouvelles propositions technologiques.	46
Nouvelles caractéristiques du système IMPROVEMENT.	47

Acronymes.

ECS	Eau chaude sanitaire
DLC	Contrôle direct de la charge
RD	Réponse à la demande
SGE	Système de gestion de l'énergie
IoT	Internet des objets
MCP	Commande prédictive à base de modèle
nZEB	Bâtiment à énergie quasi nulle
MCP	Matériaux à changement de phase
PEM	Technologie des piles à combustible à membrane échangeuse de protons
PID/RB	Stratégie de contrôle proportionnelle-intégrale-dérivée/basée sur des règles
PV	Photovoltaïque
SCADA	Système de contrôle et d'acquisition de données

1. Objectif du document.

Ces dernières années, de nombreux projets ont été développés pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et y intégrer les énergies renouvelables. Cependant, de manière générale, il existe encore peu de projets liés aux problèmes d'**intégration des ressources énergétiques distribuées** (DER), dans des environnements où prédominent les équipements de haute technologie, appelés « charges critiques ». On les trouve dans les hôpitaux, les aéroports, les universités et d'autres bâtiments publics.

Ce type de situation est toujours particulière en raison de l'extrême fragilité de ces équipements spécifiques face aux perturbations de la distribution énergétique. Pour des raisons scientifiques dans les universités et les centres technologiques, des raisons sanitaires dans les hôpitaux et des raisons de sécurité dans les gares et les aéroports, la **qualité et la continuité de la distribution** de l'énergie doivent être considérées comme des aspects fondamentaux. C'est pourquoi les bâtiments dans lesquels la garantie de la continuité de la distribution énergétique et la qualité de l'onde électrique sont des aspects essentiels et seront des cibles prioritaires pour les constatations du projet IMPROVEMENT.

Dans ce sens, les bâtiments suivants se distinguent:

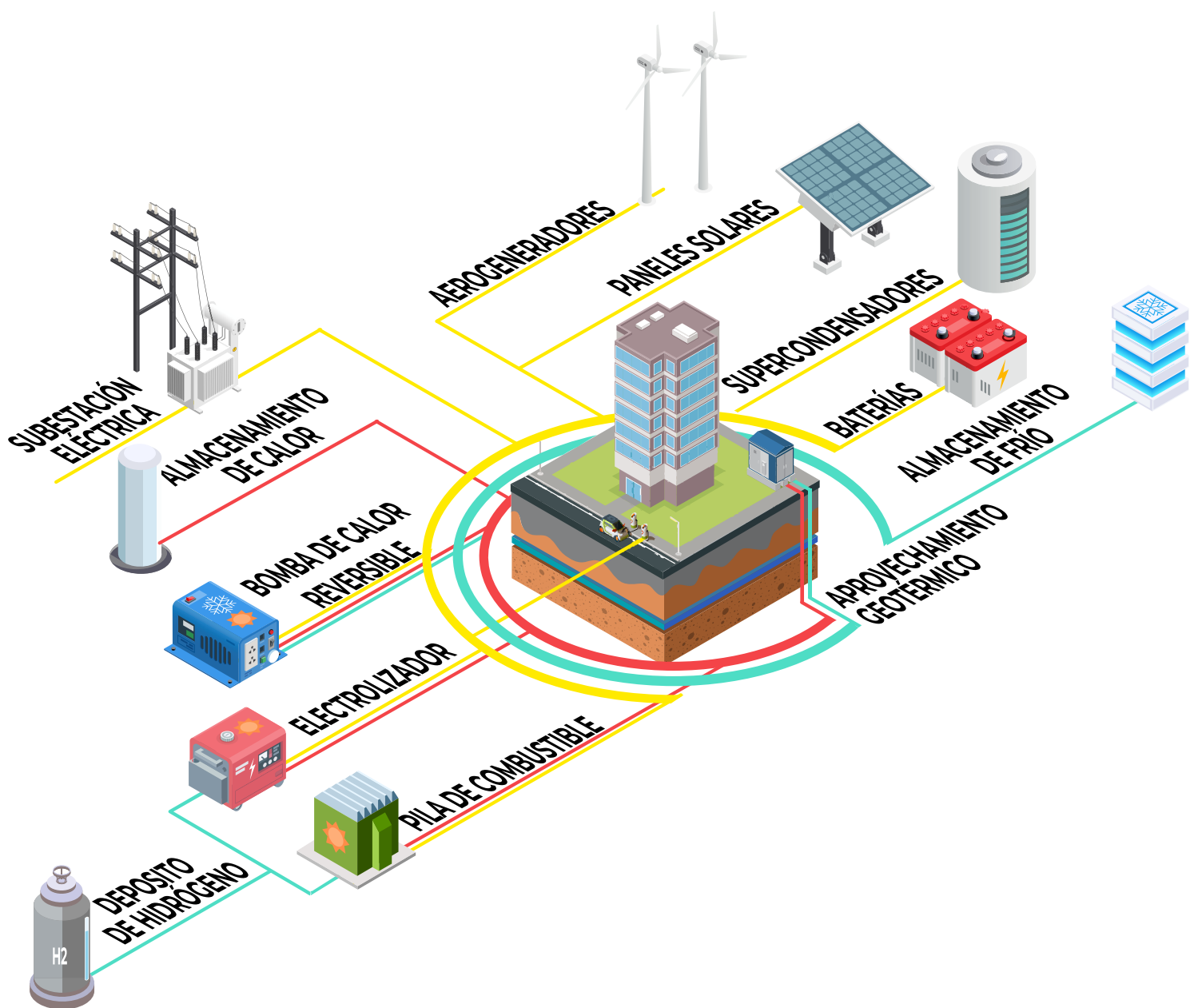
- Hôpitaux et centres de santé.
- Bâtiments des services de sécurité et d'urgence.
- Infrastructures de transport stratégiques (gares, ports maritimes, aéroports...).
- Résidences de personnes vulnérables.
- Prisons.
- Centres de recherche.
- Centres sportifs de grande envergure.
- Infrastructures militaires.
- Moyens et grands auditoriums, salles de concert, théâtres.

Nombre de ces bâtiments ont des **charges (énergétiques) critiques**, c'est-à-dire une consommation d'énergie qui ne peut en aucun cas être interrompue, distribuée de manière irrégulière ou avec une mauvaise qualité, très spécifiquement en ce qui concerne le fluide électrique car, si c'était le cas, cela mettrait en danger la santé et même la vie des personnes et/ou causerait d'importantes pertes économiques.

D'autre part, la mise en œuvre de ces systèmes pour augmenter l'efficacité énergétique des bâtiments nécessite de disposer d'un cadre réglementaire et de certification adéquat, ainsi que d'un plan de développement permettant de connaître et de garantir leur viabilité technique et économique.

Le projet IMPROVEMENT vise à convertir les bâtiments publics existants en **bâtiments dont la consommation d'énergie est nulle** en intégrant des micro-réseaux combinés de refroidissement, de chauffage et d'électricité (CCHP) avec des onduleurs à fixation neutre utilisant des systèmes de stockage d'énergie hybrides, ce qui garantira la qualité de la distribution et la continuité du fonctionnement des équipements fragiles (médicaux et scientifiques) tout en augmentant l'efficacité énergétique dans ce type de bâtiments, en suivant les objectifs spécifiques suivants:

- 1) Améliorer le rendement de ce type de bâtiments publics par la production de chaleur et de froid par énergie solaire, et par l'incorporation de technologies actives/passives pour des bâtiments à consommation d'énergie nulle.
- 2) Améliorer la qualité de l'énergie et la fiabilité de l'approvisionnement dans les bâtiments publics avec des charges critiques en développant un système de gestion de l'énergie résistant aux pannes pour le micro-réseau.
- 3) Intégrer des systèmes avancés de gestion de l'énergie pour les micro-réseaux renouvelables avec un système hybride de stockage de l'énergie selon des critères de dégradation minimale, de coût minimal d'utilisation du système de stockage et de maximisation de la consommation d'énergie durable.



La Figure 1.1 ci-dessous montre une idéalisation du système IMPROVEMENT

- Microrred eléctrica
- Microrred de calefacción
- Microrred de refrigeración

Le projet IMPROVEMENT ne se limite pas à développer ses propositions technologiques aux pays membres de la zone SUDOE, parmi lesquels se trouvent les nationalités des bénéficiaires (**Espagne, France et Portugal**), mais établit également des critères et des recommandations pour tous les pays ayant une climatologie similaire à celle des pays SUDOE.

Conformément à ces objectifs, le but de cette feuille de route est de présenter les **plans de mise en œuvre du projet IMPROVEMENT**¹, pour permettre le commencement de la phase pré-commerciale du modèle économique IMPROVEMENT et permettre son application en tant que solution de gestion de l'énergie pour les bâtiments publics avec des charges critiques.

Après avoir analysé la typologie des bâtiments publics, la conception des usines pilote, après avoir élaboré un plan commercial pour le projet IMPROVEMENT, ainsi qu'un *Guide de bonnes pratiques pour l'application du projet dans les bâtiments*, l'Agence andalouse de l'énergie a rédigé le présent Plan de mise en œuvre, afin de faciliter le démarrage d'un futur lancement du projet sur le marché.

À cette fin, les résultats obtenus dans le cadre des travaux menés par les différents bénéficiaires du projet IMPROVEMENT dans leurs tâches respectives seront compilés, donnant ainsi des recommandations pour le déploiement de micro-réseaux dans les bâtiments et installations publics qui peuvent être d'intérêt pour les agences de l'État et les autorités administratives qui en sont propriétaires. Le livrable explorera les questions clés pour l'implémentation des micro-réseaux et de la technologie de contrôle proposés et la manière dont ils peuvent jouer un rôle dans la mise en œuvre des objectifs de la politique énergétique des régions.

Les bénéficiaires du projet sont:

- Agence andalouse de l'énergie **AAE (Espagne)**
- Gouvernement andalou. Secrétaire général de l'énergie. **JA-SGE (Espagne)**
- Université de Castille-La Manche **UCLM (Espagne)**
- Université de Cordoue **UCO (Espagne)**
- Laboratoire national d'énergie et de géologie **LNEG (Portugal)**
- Centre national de l'hydrogène **CNH2 (Espagne)**
- École nationale de mécanique et d'aérotechnique ENSMA (France)
- Université de Perpignan Via Domitia **UPVD (France)**
- Institut technique supérieur, Université de Lisbonne **IST (Portugal)**

1. Pour la rédaction de ce document, le contenu du Livrable D1.5.1. Plans de mise en œuvre a été utilisé. Le livrable comprend une description plus détaillée du statut juridique, réglementaire et technique des éléments constitutifs du projet d'IMPROVEMENT pour les plans de mise en œuvre.

2. Résultats des expériences pour le projet IMPROVEMENT dans les usines pilotes et les laboratoires d'essais.

Le processus de recherche et de développement des technologies décrites pour le projet IMPROVEMENT a permis de déterminer et de collecter les résultats les plus pertinents, ainsi que les obstacles et les difficultés à surmonter pour progresser vers un modèle commercial viable à l'avenir. Dans ce sens, un résumé des conclusions exprimées par les différents bénéficiaires (**CNH2, ENSMA, IST, LNEG, UCLM, UCO, et UPVD**) sur leurs domaines de compétence respectifs dans le projet est inclus ci-dessous.

Les résultats des expériences dans les **usines pilotes des bénéficiaires CNH2 et LNEG** seront présentés, ainsi que les conclusions relatives aux systèmes de gestion de l'énergie et à la qualité de la fourniture d'énergie (**UCO et UCLM**) développés sur le pilote CNH2 ; et les algorithmes de gestion de l'énergie et de prévision des coûts énergétiques (**UPVD et ENSMA**) modélisés et appliqués sur le pilote LNEG. En outre, des informations seront ajoutées sur l'expérience menée sur le **campus d'Alameda de l'Université technique de Lisbonne**, par le bénéficiaire **IST**. Bien que ce cas ne soit pas explicitement une usine pilote du projet IMPROVEMENT, il a été jugé nécessaire de l'ajouter ici car il peut offrir une autre vision de l'expérience et fournir des informations intéressantes concernant les résultats pertinents, les obstacles rencontrés, les difficultés et les formulations pour les surmonter.

USINE PILOTE CNH2.

Dans les installations du Centre national espagnol de l'hydrogène (CNH2) à Puertollano (Espagne), deux micro-réseaux thermiques et électriques séparés mais interconnectés ont été testés pour valider les différents objectifs du projet. Les micro-réseaux sont intégrés par des équipements de production et de stockage d'électricité et de chaleur à partir de sources renouvelables, couplés par des réseaux thermiques et électriques et gérés par un système central de surveillance et de contrôle de l'énergie et de la puissance. Le système de contrôle conçu par les partenaires de l'UCO et de l'UCLM a également été testé et sera en mesure de décider si les deux micro-réseaux peuvent fonctionner de manière interconnectée ou non.

CONSTATATIONS ET RÉSULTATS PERTINENTS

A) LE MICRO-RÉSEAU ÉLECTRIQUE.

La principale innovation du système de l'usine pilote CNH2 est basée sur le développement d'un SGE capable de gérer et de contrôler automatiquement les équipements connectés au micro-réseau électrique par le biais d'un algorithme de contrôle. Une définition plus précise des concepts de «SGE» et «d'algorithme de contrôle», ainsi que de leurs fonctions dans l'usine pilote, mettra en évidence les innovations qu'ils apportent au système:

a. Système de gestion de l'énergie.

Il s'agit d'un système de contrôle composé des différents éléments physiques et des communications entre eux. La question est de savoir s'il est capable de gérer chacun de ces éléments ou équipements, séparément ou conjointement, générant ainsi un micro-réseau.

Ce SGE sera chargé de maintenir l'algorithme en fonctionnement constant, de décider quel équipement et quelle puissance utiliser en permanence, et d'envoyer les valeurs nécessaires au SCADA du micro-réseau par le biais de la communication MODBUS. Le SCADA renverra à nouveau les valeurs réelles obtenues à partir de l'équipement et les transmettra à l'algorithme par le biais de la communication MODBUS, qui les utilisera comme données dans ses calculs.

En fin de compte, deux aspects nouveaux principaux apparaissent en ce qui concerne les SGE,

1. Intégration d'un système de **stockage d'énergie hybride (HESS) dans**

OBSTACLES/DIFFICULTÉS RENCONTRÉS À SURMONTER

A) LES DIFFICULTÉS DE FONCTIONNEMENT DU MCP DANS LE SOUS-SYSTÈME DE PRODUCTION DE CHALEUR DU MICRO-RÉSEAU.

Le MCP utilisé dans le sous-système de chauffage (en mode hiver) était de type « lisier », basé sur une émulsion d'un composé paraffinique sur une base aqueuse. Cela a entraîné des difficultés lors du stockage et de l'utilisation potentielle:

- **Stockage:** Séparation potentielle de la phase organique / non-organique après un certain temps. Un phénomène de coagulation et de floculation apparaît. Cette forte instabilité a entraîné la formation d'une phase organique à haute viscosité et d'une phase aqueuse, et donc une perte potentielle de son pouvoir de stockage de la chaleur.

- **Utilisation:** Lorsque le MCP est en mouvement (écoulement) dans l'ensemble de l'usine pilote, sa viscosité élevée et la séparation potentielle des phases peuvent provoquer des « blocages » et un « encrassement » important de l'équipement et des instruments. Si les pompes qui transportent le fluide (pompe à vis) ne fonctionnent pas, après un certain temps de pose, le fluide peut encore subir la séparation des phases même à l'intérieur de l'installation. Cela oblige à le faire fonctionner en continu ou à le retirer une fois les tests terminés.

B) LES PANNES D'ÉQUIPEMENT EN COURS D'UTILISATION.

Plusieurs pannes se sont produites au cours de la phase d'exploitation de l'usi-

le micro-réseau. Il s'agit de la combinaison de différentes technologies de stockage de l'énergie telles que les batteries, les supercondensateurs ou l'hydrogène vert. L'utilisation de l'hydrogène et son intégration dans un micro-réseau électrique de ce type constituent une innovation. La clé du HESS est de **nous permettre de mieux utiliser les principaux avantages des différents systèmes de stockage**, et donc de réduire les inconvénients qu'ils présenteraient séparément, par exemple l'utilisation de supercondensateurs pour les changements très rapides ou les pics de courant, ou l'utilisation d'hydrogène pour une distribution électrique plus longue et plus constante.

2. La **possibilité de passer d'un mode connecté au réseau à un mode isolé** (par exemple, en cas de panne de courant). Ce changement est **effectué automatiquement** grâce aux opérations réalisées par le SGE sur le système SCADA, ce qui permet de garantir l'alimentation des charges critiques pendant la durée de la panne du réseau, grâce au système de stockage d'énergie et au critère de résilience des algorithmes.

b. Algorithme d'optimisation et de contrôle.

L'algorithme développé peut contrôler les différents équipements et éléments du micro-réseau, en gérant le déploiement des actions suivantes:

- **Achat/vente d'électricité depuis/vers le réseau électrique.**
- **Chargement et déchargement de la batterie.**
- **Chargement/déchargement des supercondensateurs.**
- **Production d'hydrogène par électrolyse.**

ne pilote et dans différents composants: défaillance de la pile à combustible de l'installation pilote, problèmes avec les pompes à vis des MCP thermiques et pannes et problèmes de raccords, de vannes et d'instruments associés à leur fonctionnement.

C) LA NÉCESSITÉ DE PRÉCONDITIONNER L'ÉQUIPEMENT HYDROGÈNE POUR ATTEINDRE LES PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT.

Ce qui est particulièrement important dans les piles à combustible et les électrolyseurs, pour un fonctionnement correct. Cela implique la nécessité de consacrer un certain temps au réglage de l'équipement qui, s'il n'est pas effectué, peut entraîner des inefficacités, des interruptions et une diminution de la durée de vie de l'équipement pendant son fonctionnement.

D) LES LIMITES DU TEMPS DE RÉPONSE DE L'ÉLECTROLYSEUR ALCALIN.

Il faut adapter la température de fonctionnement de ce type d'électrolyseurs, car sa capacité de production d'hydrogène n'est pas aussi immédiate que celle des autres technologies. Il en résulte une moins grande souplesse d'utilisation.

E) LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ PENDANT LA PHASE DE COMPRESSION DE L'HYDROGÈNE.

De la production à la phase de stockage (la pression passe de 10 à 200 bars). Sa consommation d'électricité est élevée lors de la phase de décompression pour l'utilisation de l'hydrogène dans la pile à combustible.

F) LE COÛT ÉLEVÉ DES ÉQUIPEMENTS LIÉS AU CYCLE DE L'HYDROGÈNE.

- **Production d'électricité à partir d'hydrogène au moyen d'une pile à combustible.**
- **Arrêt de la production d'énergie renouvelable du micro-réseau.**

L'aspect le plus innovant de cet algorithme est l'optimisation des coûts, qui est réalisée en tenant compte de différents critères, tels que:

- **Critère économique:** prendre la décision d'acheter ou de vendre de l'électricité en fonction du prix du marché, ou d'utiliser une batterie ou un système de stockage d'hydrogène.
- **Critère de dégradation:** minimiser la dégradation de l'équipement en réduisant les cycles de marche et d'arrêt de l'électrolyseur ou de la pile à combustible, ce qui permet de réduire les coûts d'exploitation du système.
- **Critère de production d'énergie renouvelable:** priorité à l'énergie renouvelable produite dans le micro-réseau avant d'acheter l'électricité du réseau public. L'électricité du réseau n'est achetée que si c'est inévitable ou s'il n'y a pas suffisamment d'énergie renouvelable à un moment donné.
- **Critère de résilience:** l'algorithme devra toujours prévoir la possibilité d'une coupure de communication avec le réseau électrique, afin de pouvoir garantir, grâce à l'énergie stockée dans les systèmes de stockage d'énergie, l'alimentation de toutes les charges critiques qui se trouvent dans le micro-réseau pendant au moins 24 heures.

B) LE MICRO-RÉSEAU DE CHALEUR.

Actuellement, les installations de CNH2 disposent d'un système de climatisation par pompe à chaleur air-eau. Ce système a deux modes de fonctionnement: le mode refroidissement et

Ainsi que certaines des nouvelles technologies utilisées, qui sont encore en phase de développement, telles que les MCP, déjà mentionnées.

G) LES DIFFICULTÉS DE COMMUNICATION ENTRE LES DIFFÉRENTS ÉQUIPEMENTS DU MICRO-RÉSEAU ÉLECTRIQUE DE L'USINE PILOTE CNH2.

- Le convertisseur électrique, équipement clé pour le démarrage de l'électrolyseur, s'est cassé.
- Il s'est avéré nécessaire de revoir les schémas de communication et les schémas électriques de l'usine pilote.

le mode chauffage, ce qui permet de répondre aux besoins de climatisation tout au long de l'année, avec une puissance calorifique maximale de 273,3 kW (obtenue en mode chauffage). Malgré son utilisation efficace et le respect des températures préconisées lors de sa mise en marche, son fonctionnement continu est une source importante de consommation d'électricité. **Il est essentiel de rechercher des actions pour minimiser la consommation et servir ainsi de référence aux potentiels bâtiments publics ayant une consommation d'énergie élevée en matière de climatisation.**

La réduction de la consommation d'énergie est l'objectif visé par **les conclusions et les résultats** de la partie thermique de l'usine pilote CNH2:

a. L'utilisation de techniques innovantes et révolutionnaires actuellement appliquées de manière limitée aux bâtiments publics:

→ **Intégration du cycle de l'hydrogène.**

L'électrolyseur et la pile à combustible sont des dispositifs électrochimiques capables de produire de l'électricité et de la chaleur pendant leur utilisation. Les piles à combustible peuvent être classées, en fonction de leur température de fonctionnement, en piles à combustible à basse ou à haute température. En fonction des utilisations, il faut choisir l'une ou l'autre de ces technologies. Dans le cas des piles à combustible destinées à des usages stationnaires (production d'électricité ou de chaleur), il est logique d'utiliser les technologies à membrane polymère (PEM) pour les usages de petite taille. Les piles à combustible à carbonate fondu (MCFC) ou les piles à combustible à oxyde solide (SOFC) dans le cas d'une cogénération importante.

- **Utilisation de l'énergie géothermique.**
- **Utilisation de matériaux à changement de phase (MCP),** en utilisant des matériaux spécifiques pour le mode de chauffage (boue organique) et d'autres pour le mode de refroidissement (non organique). Les MCP sont des matériaux à forte chaleur latente, c'est-à-dire des matériaux qui, à la température de changement de phase, peuvent stocker ou libérer de grandes quantités d'énergie. Pendant le changement de phase, la température reste constante et le matériau absorbe ou libère progressivement de l'énergie

b. Amélioration de la productivité énergétique.

En tirant parti de la chaleur résiduelle des installations de CNH2, des équipements ont été mis en place : électrolyseur alcalin et pile à combustible PEM.

c. Intégration conjointe de technologies innovantes.

Les **MCP géothermiques et les MCP à cycle hydrogène** en fonction des besoins et des conditions climatiques externes afin d'augmenter les rendements thermiques du micro-réseau.

UCO et UCLM Système de contrôle de l'énergie ou des micro-réseaux avec des exigences élevées en matière de qualité de l'énergie.

Les innovations dans le système de gestion de l'énergie de ce projet sont l'implémentation d'un système de sous-comptage IoT axé sur les exigences et les spécifications en matière de qualité de l'énergie (UCO), et la mise en œuvre d'onduleurs avec contrôle du courant du fil neutre, afin d'atténuer la circulation des harmoniques par le fil neutre (UCLM). Le capteur IoT aidera les utilisateurs à détecter la plupart des perturbations de la qualité de l'énergie qui est en régime permanent et des incidents, tout en surveillant la consommation d'énergie. Les onduleurs auront un double objectif : supprimer les harmoniques de courant et supprimer ou, au moins, atténuer les déséquilibres de courant au point de couplage commun.

CONSTATATIONS ET RÉSULTATS PERTINENTS

A) PROJECTION DES RÉSULTATS DU PROJET IMPROVEMENT AVEC LA DEMANDE DE BREVET EUROPÉEN.

Le travail effectué pour ce projet par l'UCO et l'UCLM, visant à développer un réseau de capteurs de l'Internet des objets pour la mesure avancée de la qualité de l'énergie (IoT PQ) capable de mettre en œuvre des stratégies de réponse à la demande et de contrôle direct de la charge (DR-DLC), en tant que développement central de ce projet, impliquera la demande d'un brevet européen.

B) CONVERTISSEUR DE PUISSANCE POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'ÉNERGIE DES MICRO-RÉSEAUX.

L'un des objectifs des études développées par l'UCLM pour le projet IMPROVEMENT est de contrôler les problèmes de qualité de l'énergie dans le micro-réseau causés par des charges non linéaires et déséquilibrées qui peuvent avoir un impact négatif sur les charges critiques. À cette fin, un convertisseur de puissance qui fonctionne dans le micro-réseau, auquel toutes les

OBSTACLES/DIFFICULTÉS RENCONTRÉS À SURMONTER

A) COMPLEXITÉ DES COMPTEURS DIVISIONNAIRES.

Contrairement au relevé de la consommation d'énergie d'un bâtiment au point de couplage commun (PCC), le sous-comptage consiste à mesurer la consommation d'énergie d'unités ou d'appareils individuels dans le complexe immobilier. Les sous-compteurs fournissent des informations cruciales pour un relevé plus granulaire des données de consommation d'énergie. Malheureusement, **le sous-comptage reste limité en raison du coût des compteurs et de la complexité technique de leur installation, de leur fonctionnement et de leur désagrégation.**

B) QUESTIONS CRITIQUES ET OBSTACLES À L'APPLICATION EFFICACE DE LA DR PAR LE BIAIS D'APPAREILS INTELLIGENTS EN MATIÈRE D'ÉNERGIE (ESA):

Cybersécurité : ou prévention de l'accès non autorisé aux ESA par des tiers.

Confidentialité des données : Le stockage sécurisé des données personnelles sur l'appareil ou n'importe où dans le SGE.

charges sont connectées, est contrôlé en utilisant plusieurs configurations de contrôle et des informations fournies par des capteurs IoT. Cette solution permet de compenser les perturbations suivantes : harmoniques de courant, déséquilibres de courant et compensation de la puissance réactive. En outre, les creux et les harmoniques de tension qui peuvent être présents dans le micro-réseau peuvent également être annulés.

Le système est également capable d'estimer plusieurs grandeurs électriques en temps réel, telles que la fréquence, la tension du réseau et les harmoniques de courant et de tension.

C) CONVERTISSEUR DE PUISSANCE EN TANT QUE SYSTÈME DE GESTION DE L'ÉNERGIE.

La solution proposée utilise le convertisseur de puissance connecté au micro-réseau comme source contrôlée en courant ou en tension. Ce fonctionnement permet au convertisseur de puissance de fonctionner comme un **filtre de puissance actif parallèle** et de servir de source de courant lorsque le micro-réseau est connecté au réseau électrique, compensant ainsi les perturbations de courant présentes dans le micro-réseau. D'autre part, lorsque le micro-réseau fonctionne en mode îloté, le convertisseur de puissance devient une source contrôlée par la tension et qui règle aussi la tension et la fréquence du micro-réseau.

D) CONVERTISSEUR DE PUISSANCE DOTÉ DE FONCTIONNALITÉS AVANCÉES.

Un convertisseur de **puissance triphasé à quatre fils** (puissance no-

Interopérabilité : capacité des ESA à être exploitées par n'importe quel agent du système.

Qualité de l'énergie : prévention des perturbations du réseau causées par le fonctionnement incorrect ou simultané des ESA.

C) FACTEURS EXTERNES À SURMONTER.

Non directement liés au projet, tels que le manque d'approvisionnement en composants électroniques en raison de leur pénurie sur les marchés internationaux ou les limitations dues à la géopolitique ou à des raisons sanitaires, comme la pandémie de CoVid-19.

D) FAIBLE QUOTA DE DONNÉES.

La quantité d'informations fournies par les capteurs IoT n'est pas entièrement utilisée par la structure de contrôle proposée, car ces informations sont fournies à une échelle de temps très lente par rapport à celle nécessaire au système de contrôle. Les informations fournies par les capteurs IoT ne sont utiles que dans le cadre du processus d'estimation des grandeurs électriques.

Cet inconvénient implique que le système de contrôle nécessite l'implémentation de capteurs qui fournissent les mesures de courants et de tensions, ce qui augmente le coût de la solution proposée.

E) DES AMÉLIORATIONS DOIVENT ÊTRE APPORTÉES AU CONVERTISSEUR DE PUISSANCE.

La transition actuelle entre le mode connecté au réseau et le mode îloté mis en œuvre dans le micro-réseau déjà existant à CHN2 est très lente, ce qui rend impossible une transition correcte avec le convertisseur de puissance.

La puissance nominale du convertisseur de puissance est adaptée au fonc-

minale de 15 kVA) **avec contrôle du point neutre a été construit pour le projet IMPROVEMENT.** Le convertisseur de puissance est contrôlé par une plate-forme en temps réel, qui peut effectuer les actions de contrôle expliquées ci-dessus.

tionnement du filtre de puissance actif parallèle. Néanmoins, cette valeur n'est pas suffisante si le convertisseur doit fonctionner comme une source à tension contrôlée en raison de la puissance nominale du micro-réseau.

F) ASPECTS CRITIQUES DES TECHNOLOGIES NON COMMERCIALES.

Le **prix élevé** est l'un des principaux obstacles à l'adoption d'un convertisseur de puissance triphasé à quatre fils avec contrôle du point neutre comme solution pour les micro-réseaux. Un autre problème est le **manque d'entreprises disposées à mettre en œuvre ce type de solutions non commerciales.** La conception, la construction et la mise en service d'un onduleur personnalisé qui doit respecter plusieurs spécifications de fonctionnement strictes constituent toujours une **tâche difficile, compte tenu des longs délais de livraison prévus.** Le **service de maintenance** de cette solution peut être compromis pour les mêmes raisons.

USINE PILOTE LNEG.

Les activités de recherche menées par le LNEG dans l'installation pilote et l'étude de cas portugaises se concentrent sur la recherche de solutions technologiques appropriées et raisonnables pour la conversion d'un immeuble de bureaux public existant situé à Lisbonne en un nZEB. Les mesures de rénovation appliquées pour atteindre l'objectif nZEB consistent en une combinaison de rénovation de l'enveloppe et des systèmes techniques du bâtiment avec l'intégration de la production et du stockage de l'électricité et de la chaleur provenant de sources renouvelables, couplés par des réseaux thermiques et électriques. L'ensemble de l'installation est contrôlé de manière centralisée et géré par un système de contrôle de l'énergie et de la puissance spécialement conçu pour caractériser l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment.

En outre, le partenaire UPVD a appliqué les données fournies par la centrale pilote du LNEG et son expérience dans le domaine de la gestion de l'énergie pour développer un modèle sur la centrale pilote du LNEG et prévoir la production d'électricité photovoltaïque, tandis que l'ENSMA a travaillé sur le développement de systèmes de prévision de la consommation d'énergie dans les bâtiments et des tarifs de l'électricité.

CONSTATATIONS ET RÉSULTATS PERTINENTS

A) OBTENIR UN CONFORT THERMIQUE.

La contribution portugaise du LNEG au projet vise à démontrer une méthodologie pour la rénovation d'une partie d'un bâtiment public existant en un bâtiment à énergie quasi nulle tout en maintenant (et même en améliorant) le niveau de confort thermique. L'une des préoccupations initiales était la réduction des besoins énergétiques, par la mise en œuvre de solutions passives et actives et la mesure de l'amélioration du confort thermique sans être influencé par les variations de la température extérieure. Les solutions mises en œuvre comprennent la maximisation de l'éclairage naturel, l'incorporation efficace de l'éclairage artificiel (LED à intensité variable), le remplacement du faux plafond par des panneaux à haute efficacité d'isolation thermique et acoustique, le vitrage, la ventilation, des écrans pare-soleil ainsi que l'application de MCP pour minimiser les influences externes et réguler l'inertie thermique.

B) LE SYSTÈME DE GESTION DE LA CHALEUR.

La solution trouvée pour la climatisation de l'ensemble de la zone pilote a été un système combiné de production de chaleur et de froid, basé sur une pompe à chaleur air/eau assistée par des capteurs solaires thermiques pour le chauffage des locaux (mode hiver) et la même pompe à chaleur pour produire de l'eau froide pour la climatisation des locaux (mode été).

Il y a un ballon d'inertie de 1000 litres dont la fonction est de stocker la chaleur ou le froid produit en mode économique, selon la saison. Pour la production de chaleur, un

OBSTACLES/DIFFICULTÉS RENCONTRÉS À SURMONTER

A) OBTENIR UN CONFORT THERMIQUE.

- Dans certaines conditions climatiques extrêmes, il peut être difficile d'atteindre un bilan énergétique nul du bâtiment tout en maintenant le niveau de confort aux normes habituelles. Pour contourner cet effet, il peut être nécessaire d'adopter des mesures supplémentaires, telles que l'utilisation de niveaux de confort adaptables.
- Les mesures appliquées à l'enveloppe du bâtiment peuvent entraîner une faible réduction de la consommation d'énergie et/ou une amélioration du confort thermique.
- Le coût des interventions à réaliser peut ne pas être amorti sur la durée de vie (économique) du bâtiment.
- La rénovation du bâtiment a nécessité le travail d'équipes professionnelles très qualifiées pour obtenir des résultats adéquats. Il s'est avéré très difficile de trouver un fournisseur pour le système de surveillance et de contrôle de la charge électrique réparti dans plusieurs endroits, ainsi qu'une entreprise spécialisée pour les travaux d'électricité ayant de l'expérience dans l'installation de micro-réseaux.
- Le développement de ce créneau nécessite la formation et l'éducation des concepteurs et des professionnels dans les deux principaux secteurs visés par le projet pilote portugais: 1) transformer les bâtiments pour améliorer leur efficacité énergétique (pour qu'il soit en nZEB) et 2) installer et exploiter des micro-réseaux à l'échelle d'un bâtiment.

B) LE SYSTÈME DE GESTION DE LA CHALEUR.

- La définition des exigences relatives au système de gestion de la chaleur

circuit composé d'un système solaire à circulation forcée est utilisé pour assister la pompe à chaleur. Le système solaire à circulation forcée est composé de deux capteurs solaires, de 16 tubes sous vide avec caloduc, et d'un stockage thermique de 300 litres en circuit fermé. La pompe à chaleur peut fonctionner en mode direct sans le réservoir d'inertie. L'ensemble de ce système thermique est doté d'une forte composante de surveillance et de contrôle, permettant une évaluation et un contrôle optimisés de l'ensemble du processus.

C) LE MICRO-RÉSEAU ÉLECTRIQUE.

Un nouveau circuit électrique, conçu pour créer un micro-réseau avec des panneaux solaires photovoltaïques, une micro-éolienne, des onduleurs, des batteries et les charges locales, a été installé et mis en service. Le système de gestion de l'énergie est capable de basculer automatiquement entre la production d'énergie renouvelable du micro-réseau (mode d'îlotage hors réseau) et le mode de fonctionnement du réseau public (la priorité étant donnée par défaut à l'auto-production d'énergie renouvelable).

a dû être réajustée en vue de la mise en œuvre des options de confort thermique récurrentes dans le cadre de la rénovation de l'usine pilote. Les délais de livraison et de mise en service des équipements ont été retardés, ce qui a également repoussé les tests de fonctionnement du système de gestion de la chaleur.

- La contribution annuelle de l'énergie solaire thermique est faible, ce qui rend difficile la justification et l'amortissement du coût supplémentaire de l'équipement par rapport aux solutions conventionnelles. Un autre aspect est la variabilité de la ressource solaire et la difficulté d'adapter les besoins à la disponibilité de cette ressource.
- Un manque de compétence général des entreprises spécialisées dans la gestion de l'énergie thermique des bâtiments. Mauvais entretien des systèmes thermiques.
- Absence de standardisation pour définir et soutenir la spécification des systèmes, avec une conception et une approche casuistiques, ce qui augmente les coûts d'investissement et d'exploitation et nécessite des équipes hautement qualifiées.

C) LE MICRO-RÉSEAU ÉLECTRIQUE.

- Les principaux obstacles à l'intégration des micro-réseaux électriques sont d'ordre financier et technique. Le prix élevé des composants à installer, qui représentent un long retour sur investissement, est difficile à justifier par rapport aux solutions conventionnelles.
- Il y a peu de ressources renouvelables sur le site. Il s'agit de l'énergie éolienne, dans le cas du projet pilote de LNEG.
- Manque d'entreprises spécialisées ayant les compétences nécessaires pour répondre aux exigences du projet.
- Absence de normes pour réguler les systèmes.

Modèles UPVD et ENSMA pour la gestion et la prévision de l'énergie dans le bâtiment pilote du LNEG.

Cette partie énumère les résultats les plus pertinents obtenus par UPVD/PROMES-CNRS (Université de Perpignan Via Domitia/Processus, Matériaux et Énergie Solaire) concernant la gestion énergétique du bâtiment pilote du LNEG à Lisbonne (Portugal), et évalue la faisabilité des solutions techniques proposées et les difficultés et obstacles à surmonter. Il est résumé le travail effectué par l'ENSMA (École Nationale Supérieure de Mécanique et Aérotechnique) concernant la prévision de la consommation d'énergie dans les bâtiments publics et les tarifs de l'électricité. Les algorithmes développés par UPVD/PROMES-CNRS concernant la prévision de la production d'énergie photovoltaïque sont également brièvement présentés.

CONSTATATIONS ET RÉSULTATS PERTINENTS

A) LE CONFORT THERMIQUE/LA GESTION DE L'ÉNERGIE THERMIQUE.

La principale contribution d'UPVD/PROMES-CNRS au projet IMPROVEMENT est un système de gestion prévisionnelle de l'énergie (PEMS) pour la gestion de l'énergie thermique et du confort thermique dans les bâtiments publics équipés de micro-réseaux multi-énergétiques (thermiques et électriques). Le SGE IMPROVEMENT gère efficacement l'interconnexion des deux micro-réseaux. L'objectif du SGE est de tirer parti du surplus de production d'énergie photovoltaïque pour alimenter le micro-réseau de chaleur.

Le bâtiment pilote du LNEG à Lisbonne (Portugal), qui est équipé d'un micro-réseau électrique composé de batteries et de panneaux solaires photovoltaïques et d'un micro-réseau de chaleur composé de deux sous-systèmes, a permis la conception d'algorithmes de contrôle réalisables par calcul et basés sur le contrôle prédictif de modèle (MCP). Le premier sous-système thermique comprend des capteurs solaires, une pompe à chaleur et des réservoirs de stockage thermique. Le deu-

OBSTACLES/DIFFICULTÉS RENCONTRÉS À SURMONTER

A) LA CONCEPTION ET LA VALIDATION D'ALGORITHMES DE SGE THERMIQUE RÉALISABLES SUR LE PLAN INFORMATIQUE.

La modélisation précise du comportement thermique du système est assez difficile sans pénaliser le temps de traitement.

Des données réelles sont nécessaires pour valider les modèles mais, dans certains cas, ces données manquent. En ce qui concerne les données fournies par le LNEG, qui sont globalement cohérentes, quelques données sont manquantes et certaines quantités clés (la température du fluide traversant les capteurs solaires, son débit volumétrique et le débit d'air dans les ventilo-convecteurs) ne sont pas mesurées, étant donné que la veille a été conçue pour l'évaluation de l'efficacité énergétique, et non pour la validation des modèles.

La généralisation des modèles développés et des stratégies de contrôle automatique proposées à d'autres études de cas n'est pas une tâche facile, car les

xième sous-système thermique fournit de la chaleur à différentes pièces du bâtiment par l'intermédiaire de ventilo-convecteurs, en tirant parti de la chaleur provenant du premier sous-système thermique. Tous les composants du micro-réseau thermique LNEG et les zones thermiques du bâtiment ont été modélisés.

Deux stratégies MCP, la première est basée sur l'optimisation, ce qui demande beaucoup de calculs, tandis que la seconde est sans optimisation. Elles ont été conçues et comparées à une stratégie de contrôle proportionnelle-intégrale-dérivée/basée sur une règle (PID/RB).

Toutes les stratégies exploitent avec succès le surplus de production d'énergie photovoltaïque, ce qui permet de valider la façon dont les micro-réseaux multi-énergies sont exploités. En conclusion, la stratégie de contrôle PID/RB est moins efficace que les deux stratégies MCP.

En outre, ces stratégies de contrôle réduisent la consommation d'énergie, tout en assurant parfaitement le confort thermique des utilisateurs, ce que la stratégie de contrôle PID/RB n'est pas toujours en mesure de faire.

Avec les deux stratégies MCP, le coût économique et les émissions de dioxyde de carbone sont réduits et les contraintes du système sont satisfaites. Le PEMS basé sur l'optimisation est légèrement plus performant que le PEMS sans optimisation, mais son temps de calcul est très élevé, ce qui fait du **PEMS sans optimisation le meilleur choix pour une implémentation *in situ***.

B) À PROPOS DE LA GESTION DE L'ÎLOTAGE DES MICRO-RÉSEAUX.

En plus des algorithmes développés pour la gestion de l'énergie thermique et du

systèmes de production et de stockage d'énergie ont des caractéristiques et des contraintes spécifiques.

L'élaboration de stratégies de gestion de l'énergie capables de gérer différents scénarios et configurations n'est pas une tâche facile.

Le comportement humain et son impact sur l'efficacité énergétique des bâtiments sont difficiles à gérer.

L'obtention du meilleur compromis entre performance et temps de traitement (complexité du modèle) est fondamentale pour obtenir de bons résultats lors du développement d'algorithmes, en particulier d'algorithmes basés sur la commande prédictive de modèle.

B) À PROPOS DE LA GESTION DE L'ÎLOTAGE DES MICRO-RÉSEAUX.

Les ressources thermiques du LNEG ne sont pas suffisantes pour couvrir la totalité de la demande de chaleur en cas d'îlotage. C'est pourquoi le seuil de température de l'air dans les différentes pièces du bâtiment doit être abaissé à une valeur inférieure afin que le micro-réseau thermique puisse répondre à la demande de chaleur en utilisant le surplus de production d'énergie photovoltaïque disponible.

C) LA PRÉVISION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES TARIFS DE L'ÉLECTRICITÉ.

De grands corpus de données sont nécessaires lorsque des techniques d'apprentissage automatique ou approfondi sont utilisées.

Le prétraitement des données, qui n'est pas une tâche facile, est nécessaire pour obtenir de bons résultats de formation et une capacité de généralisation suffisante.

confort thermique dans les bâtiments publics, UPVD/PROMES-CNRS a développé un algorithme pour la gestion prédictive des ressources énergétiques dans les micro-réseaux hybrides (thermiques et électriques) fonctionnant en mode îloté.

En utilisant cet algorithme, la capacité d'îlotage du micro-réseau hybride du LNEG a été évaluée. Une stratégie de contrôle PID/RB est utilisée comme stratégie de référence. Il est intéressant de noter que les contraintes thermiques sont en grande partie résolues pendant l'îlotage lorsque l'on utilise la stratégie prédictive, ce que la stratégie de contrôle PID/RB n'est pas en mesure de faire. Le micro-réseau électrique du LNEG est autosuffisant en termes de ressources énergétiques.

C) LA PRÉVISION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES TARIFS DE L'ÉLECTRICITÉ.

L'ENSMA a développé des algorithmes de prévision avec l'aide de l'IST pour la consommation d'énergie et les tarifs d'électricité. UPVD/PROMES-CNRS a développé des algorithmes pour prévoir l'irradiation horizontale globale (GHI). Les prévisions de production d'énergie photovoltaïque sont déduites des prévisions de l'indice d'humidité relative. Tous les algorithmes développés sont basés sur l'apprentissage automatique (des réseaux neuronaux artificiels profonds sont par exemple utilisés) et sont faciles à traiter sur le plan informatique. La précision des prévisions est satisfaisante pour toutes les quantités. Les données utilisées pour former et valider les différents modèles sont prétraitées pour éliminer les données corrompues et les valeurs aberrantes.

L'EXPÉRIENCE DE L'USINE DU CAMPUS D'ALAMEDA DE L'IST.

Les résultats les plus pertinents de l'usine pilote du campus IST Alameda (Université technique de Lisbonne) à Lisbonne sont décrits ici afin d'ajouter un point de vue sur la faisabilité de chaque élément et d'indiquer les difficultés et les obstacles à surmonter pour obtenir ces résultats. Le campus d'Alameda n'est pas à proprement parler un projet pilote d'IMPROVEMENT. Cependant, il s'agit d'un ensemble de bâtiments publics avec quelques installations de laboratoire essentielles pour la formation et la recherche. Pendant le développement du projet IMPROVEMENT, le campus avait prévu quelques interventions sur les réseaux thermiques et électriques. De cette façon, l'analyse est faite pour identifier la viabilité et les difficultés des bâtiments publics dans un contexte socio-économique normal, en dehors d'un projet spécifique comme IMPROVEMENT.

CONSTATATIONS ET RÉSULTATS PERTINENTS

A) L'INSTALLATION D'UN SYSTÈME SOLAIRE THERMIQUE DANS LE CENTRE SPORTIF DU CAMPUS.

Le projet IST vise à remplacer la consommation d'électricité pour produire de l'eau chaude pour les douches dans les vestiaires. Tout au long de la journée, les installations sportives sont utilisées par les étudiants qui font partie des différentes équipes sportives de l'université. L'autoconsommation basée sur des systèmes solaires thermiques a été considérée comme une option intéressante pour réduire la facture énergétique et rapprocher les installations sportives du campus du concept nZEB.

B) L'INSTALLATION D'UNE CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE DANS LES INSTALLATIONS SPORTIVES DU CAMPUS.

Le projet IST vise également à installer une centrale solaire photovoltaïque de 0,65 MW afin de produire

OBSTACLES/DIFFICULTÉS RENCONTRÉS À SURMONTER

A) LES QUESTIONS RELATIVES AUX SYSTÈMES SOLAIRES THERMIQUES.

L'intervention a eu lieu à la fin de l'année 2019. La principale difficulté était liée à la pandémie de CoVid-19. Pendant deux ans (jusqu'à la fin de l'année 2021), l'utilisation de l'installation a été très limitée. Ensuite, la pandémie a modifié les habitudes d'utilisation des vestiaires, en particulier le soir, où les utilisateurs ont tendance à quitter les installations sans se doucher, de sorte que, dans l'ensemble, la demande est nettement inférieure aux prévisions.

Lorsque les systèmes solaires thermiques sont sous-utilisés, il y a une contrainte thermique supplémentaire dans l'ensemble de l'installation, car la chaleur n'est pas dissipée. De cette manière, l'entretien des capteurs, des vannes et de l'isolation du système de tuyauterie est beaucoup plus important.

de l'électricité pour le campus à des fins d'autoconsommation. Le campus d'Alameda consomme plus de 14 GWh d'électricité par an, avec une demande de base de 800 kW tout au long de l'année. Tous les bâtiments sont connectés à un réseau de distribution en anneau avec un point de connexion au réseau de distribution à moyenne tension. La consommation maximale de 3,5 MW est atteinte en été.

La faisabilité économique du projet ne sera pas atteinte. Avant l'installation, on s'attendait à ce que cette durée soit supérieure à 10 ans, mais en raison de la sous-utilisation et de l'augmentation des coûts de maintenance, le seuil de rentabilité ne devrait pas être atteint.

B) LES QUESTIONS RELATIVES AUX SYSTÈMES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES.

Le principal obstacle est l'investissement initial (estimé à environ 500 000 euros), mais surtout le contexte du financement public, où de nombreux organismes publics, y compris les universités, n'ont pas l'autonomie nécessaire pour réaliser ce type d'investissements avec l'autorisation du gouvernement. En outre, la réglementation des marchés publics prend beaucoup de temps. Bien que l'IST utilise un fonds public pour la rénovation énergétique des bâtiments publics, soutenu par la Banque européenne d'investissement, qui suit les lignes d'un contrat de performance énergétique (le prêt est payé en fonction des économies réalisées), après trois ans, l'usine n'est pas encore en service.

Dans le cas du campus IST, où certains bâtiments sont classés comme patrimoine, il n'est pas possible d'utiliser toute la surface des bâtiments pour installer des systèmes photovoltaïques, la centrale est donc plus petite que nécessaire.

3. Recommandations et propositions.

Les résultats des expériences recueillies dans les installations pilotes et les laboratoires d'essai ont ensuite été complétés par une étude de l'état de l'art en matière de cadre réglementaire et commercial, à la fois pour les bâtiments récepteurs potentiels des solutions IMPROVEMENT et pour les technologies impliquées.

Certains de ces résultats soulignent la nécessité d'élaborer une série de recommandations et de propositions à aborder avant de commercialiser le système IMPROVEMENT.

LES ASPECTS RELATIFS À LA CONSTRUCTION.

Le scénario réglementaire devient de plus en plus exigeant en termes de construction et de durabilité. **La promotion des labels de qualité pour la construction est devenue un outil essentiel pour anticiper les demandes futures.** Les certifications environnementales des bâtiments trouvent leur origine dans la nécessité pour le secteur du bâtiment d'accélérer son évolution vers des pratiques durables. Pour résumer, ce qui n'est pas défini ne peut pas être mesuré, ce qui ne peut pas être mesuré ne peut pas être amélioré, et si ça ne peut pas être amélioré, ça sera altéré.

Une certification de durabilité confère à un bâtiment un grand prestige, accroît sa valeur, conduit à une plus grande conservation sur le long terme, ce qui se traduit par une réduction de la consommation d'énergie, des espaces plus sains pour vivre et travailler, tout en réduisant les coûts d'exploitation, et conduit à des processus de construction beaucoup plus durables et respectueux de ce qui est exigé par la loi.

Dans le processus de certification, l'organisme de certification délivre le certificat après avoir effectué un contrôle des données environnementales du bâtiment. La personne qui assure la certification, outre la préparation de ces données, peut intervenir tout au long du processus pour fournir des conseils en matière de protection de l'environnement.

La **directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments** (EPBD NZEB),² contraignante pour tous les États membres de l'UE, stipule qu'à partir de 2021, tous les nouveaux bâtiments devront être conformes à la norme nZEB. **Cette exigence s'applique dès le 1er janvier 2019 aux bâtiments du secteur public.** La technologie développée dans le cadre du projet IMPROVEMENT peut permettre d'atteindre ces normes.

2. DIRECTIVE (UE) 2018/844 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 30 mai 2018 modifiant la directive 2010/31/UE sur l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et la directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique

Dans les bâtiments où les solutions d'AMÉLIORATION seront mises en œuvre, le certificat d'état énergétique initial et le certificat d'état énergétique amélioré seront tous deux nécessaires. Ils permettent de comparer les valeurs initiales et finales de la consommation et de la demande d'énergie, afin de justifier le respect des exigences requises pour bénéficier des aides à l'énergie.

Parmi tous les certificats de construction durable, **LEED et BREEAM** sont les deux certificats les plus connus et les plus répandus au niveau international. Ils sont les deux plus performants grâce à leur renommée, leur adaptabilité et leur présence sur le marché. Tout type de bâtiment peut être certifié dans le cadre des deux systèmes, qu'il s'agisse d'un bâtiment neuf ou existant, et pour tout type d'utilisation : universités, magasins, bureaux, hôpitaux, habitations, terrains de sport, entrepôts logistiques, immeubles d'habitation, etc.

En Espagne, la certification **VERDE** est adaptée à la réglementation espagnole. Elle contribue à la mise en œuvre de mesures de durabilité dans les bâtiments en évaluant les aspects environnementaux, sociaux et économiques. Elle accorde une importance maximale à l'analyse du cycle de vie des bâtiments. Elle s'aligne sur **le(s) niveau(x)**³, ce qui inclut les indicateurs de durabilité pour la construction établis par l'UE, les objectifs de développement durable (ODD), la connaissance de la contribution de chacun d'entre eux et la **taxonomie européenne**.

Au-delà des aspects techniques qui déterminent le certificat énergétique d'un bâtiment, il y a d'autres aspects importants à considérer, qui interviennent dans l'intégration du système IMPROVEMENT dans les bâtiments publics avec des charges critiques. Ils sont présentés ci-dessous:

1. L'efficacité de ce type de solutions dépend fortement des conditions du site (par exemple, disponibilité des ressources renouvelables, bâtiment isolé ou entouré par des bâtiments...) qui peuvent ne pas être adaptées à l'endroit où le bâtiment concerné est situé, il est donc décisif pour le fonctionnement optimal du système, d'**effectuer au préalable une analyse des caractéristiques environnementales et des infrastructures de l'environnement dans lequel le projet IMPROVEMENT sera localisé.**
2. **Développement d'une classification des charges critiques dans les bâtiments publics** afin d'élaborer une stratégie pour la mise en place de micro-réseaux, en établissant des priorités en fonction des critères de cette classification.

3. https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/levels_en

3. Soutien public au développement et à la mise à disposition d'outils électroniques et de logiciels pour la gestion de l'énergie et le contrôle des bâtiments nZEB.

4. Minimisation des obstacles administratifs et bureaucratiques liés à l'attribution des interventions dans les bâtiments publics, principalement lorsque le financement nécessaire est disponible.

5. Le financement est indispensable, surtout lorsqu'il s'agit d'envisager la rénovation d'un bâtiment, où des coûts élevés sont à prévoir. Dans la réalisation de ce type de solutions, les gouvernements doivent être impliqués à tous les niveaux. Des programmes régionaux spécifiques de subvention pour la rénovation énergétique des bâtiments sont essentiels pour l'inclusion des technologies d'IMPROVEMENT.

6. La mise en place de SGE dans les bâtiments, un outil idéal pour:

- Améliorer la productivité énergétique.
- Réduire et contrôler des coûts énergétiques.
- Respecter des exigences légales et réglementaires.
- Réduire des émissions de CO₂ et de l'empreinte carbone.
- Améliorer de la réputation et de l'image du gouvernement.
- Garantir la sécurité énergétique.
- S'ouvrir aux opportunités commerciales et références commerciales.

Et devenir une référence pour mettre en œuvre un SGE proposé par la norme **ISO 50001:2018** Systèmes de management de l'énergie, exigences et lignes directrices pour son utilisation.

7. Promotion de l'implémentation du certificat énergétique, même dans les cas où il n'est pas obligatoire d'en avoir un. Il est proposé d'exiger la délivrance d'un certificat dans les cas suivants:

- **Des financements pour la réhabilitation des bâtiments sont disponibles.** Le certificat énergétique pourrait être un document requis avec le reste de la documentation nécessaire à la demande d'aide publique pour la réhabilitation des bâtiments.
- **La rénovation des bâtiments peut bénéficier d'exonérations de taxes locales.** Les certificats énergétiques pourraient servir de preuve pour l'obtention de crédits d'impôt.

8. Mise en place d'un système de certification comme le certificat VERDE espagnol dans les autres régions SUDOE impliquées dans le projet, étant donné que près de la moitié des inscriptions au certificat VERDE mentionnées en 2021 en Espagne, avaient comme promoteur une administration publique ou une entité qui en dépendait.

9. Permettre aux **mécanismes de faire connaître les solutions des systèmes IMPROVEMENT de manière claire** pour que les décisionnaires et les citoyens ordinaires soient au courant de l'existence de ce type de solutions et des systèmes de financement correspondants.
10. **Les entreprises n'ont pas un grand intérêt pour ce type de mesures qui s'appliquent à leur bâtiment.** De nombreuses entreprises considèrent que l'implémentation de solution pour la qualité de l'énergie est très coûteuse, alors qu'elles essaient de réaliser des économies dans le cadre de leurs activités habituelles. Ils ne tiennent généralement pas compte de ces propositions. C'est pourquoi il est si **important de mettre en place le système IMPROVEMENT dans les bâtiments publics ayant des charges critiques**, car ils serviront de levier pour éveiller l'intérêt du secteur privé pour ces technologies.

LES ASPECTS LIÉS AUX TECHNOLOGIES ET AUX ÉQUIPEMENTS.

Afin de formuler des recommandations et des propositions sur les aspects spécifiquement liés aux composantes incluses dans la solution IMPROVEMENT, le regroupement de ces dernières a été examiné dans les sections ci-dessous.

Ce regroupement basé sur les composants des micro-réseaux proposés va des aspects qui peuvent être améliorés au niveau de la configuration technique, sur la base de l'expérience et de la résolution des blocages détectés par les projets pilotes, aux aspects juridiques et réglementaires, à l'accréditation, au marquage de qualité, au financement de l'implémentation finale du marché et aux aspects environnementaux.

Aspects technique.

L'ÉQUIPEMENT ET L'ARCHITECTURE DU SYSTÈME.

→ **Les pannes d'équipement en cours d'utilisation.**

- ▶ En fonction des résultats obtenus dans le cadre des projets pilotes, il conviendrait de concevoir ou de configurer différemment les installations afin d'affiner le fonctionnement du système et de corriger les dysfonctionnements.
- ▶ Des procédures opérationnelles adéquates doivent être établies sur la base du « savoir-faire » acquis avec les technologies utilisées dans le cadre de ce projet.
- ▶ Un plan de maintenance préventif spécifique à la technologie utilisée doit être élaboré.

- **L'équipement hydrogène pour atteindre les paramètres de fonctionnement.**
 - ▶ Planification d'un pré-conditionnement et d'un mode de fonctionnement de l'équipement.
 - ▶ La conception d'un plan de maintenance préventif adapté à la technologie utilisée.

- **Les limites du temps de réponse de l'électrolyseur alcalin.**
 - ▶ Évaluation d'alternatives technologiques pour le processus d'électrolyse, telles que la technologie PEM (membrane d'échange de protons), si une plus grande flexibilité de production est nécessaire.

- **La consommation d'électricité pendant la phase de compression de l'hydrogène.**
 - ▶ Déterminer s'il est possible de stocker à une pression inférieure. Le facteur restrictif dans ce cas est l'espace disponible dans les réservoirs de stockage.
 - ▶ Couvrir les dépenses électriques de la compression avec des énergies renouvelables.

- **Le coût élevé des équipements liés au cycle de l'hydrogène.**
 - ▶ Le développement de ces technologies devrait se poursuivre dans les années à venir.
 - ▶ L'émergence de nouvelles économies d'échelle.

- **Les difficultés opérationnelles du MCP.**
 - ▶ Sélection d'autres alternatives MCP : Les MCP d'une autre sorte, tels que les MCP immobiles utilisés dans la partie froide. Ils ont montré un comportement adéquat avec moins de problèmes opérationnels que le type «lisier».
 - ▶ Procéder à une adaptation approfondie de l'installation: cela impliquerait de modifier l'instrumentation et d'autres équipements pour les adapter au fluide, ainsi que de revoir la conception de l'installation elle-même, en raison de la nécessité éventuelle d'ajouter un agitateur continu dans le réservoir de stockage ou d'étudier d'autres solutions possibles.

PROTOCOLES DE COMMUNICATION POUR LA GESTION DES MICRO-RÉSEAUX.

- ▶ Un protocole de communication adéquat et robuste est nécessaire.

- ▶ Recherchez des équipements dont le langage de communication est optimisé pour ce type d'applications.
- ▶ Conception d'un plan de maintenance.

ALGORITHMES DE CONTRÔLE ET DE PRÉVISION.

- ▶ L'accès en temps réel aux données, aux dispositifs matériels et aux services logiciels est essentiel à la mise en œuvre in situ du SGE d'IMPROVEMENT.
- ▶ La meilleure solution dépend fortement du site et est liée à la fois au type d'équipement à installer et aux objectifs du propriétaire du bâtiment en termes de réduction de la consommation d'électricité et de confort thermique.
- ▶ Les algorithmes basés sur l'apprentissage automatique nécessitent une grande quantité de données afin qu'une phase efficace de préparation puisse être réalisée, ce qui a un impact négatif sur la mise en œuvre de ces solutions (avant la mise en œuvre des solutions, suffisamment de données doivent être collectées).
- ▶ Les algorithmes doivent continuer à tourner pour s'améliorer. Une mauvaise exécution a un impact négatif sur la diffusion de la solution (par exemple, en raison de difficultés liées à des caractéristiques ou à des contraintes spécifiques).
- ▶ Les algorithmes difficiles à concevoir sont difficiles à mettre en œuvre in situ.
- ▶ Réaliser un algorithme de contrôle optimal du coût par rapport à la performance. Une solution trop coûteuse est difficile à diffuser, même si les performances sont élevées.

Aspects de la légalisation, de l'accréditation et de la normalisation des micro-réseaux et de leurs composants.

- Tout d'abord, il est nécessaire d'unifier juridiquement la définition de «micro-réseau», en clarifiant les exigences légales et réglementaires concernées, les schémas techniques autorisés, leur propriété, etc.
- Les progrès dans la réalisation des technologies doivent être fixés à un stade antérieur. Les équipements techniques et les composants de l'architecture des micro-réseaux IMPROVEMENT ont différents niveaux de maturité technologique ou TRL (Technology Readiness Level). Cela entrave son développement et sa mise en œuvre. Plus le TRL est élevé, plus l'expérience et les connaissances sont importantes et plus le nombre de certifications est élevé.
- Les normes européennes EN (CEN, Cenelec, comités ETSI) et les normes harmonisées⁴ sont généralement volontaires. Les fabricants certifient leurs produits selon ces normes afin de démontrer que leurs

4. https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/standards/standards-in-europe/index_es.htm

produits et services possèdent un certain niveau de qualité, de sécurité et de fiabilité. Il est suggéré que des normes minimales soient obligatoires pour les spécifications techniques des marchés publics.

- Les produits soumis à une norme EN harmonisée doivent obtenir le marquage CE⁵. Le marquage CE indique que le fabricant a évalué le produit et considère qu'il répond aux exigences de l'UE en matière de sécurité, de santé et de protection de l'environnement. Le marquage CE est obligatoire pour certains produits fabriqués partout dans le monde et destinés à être commercialisés dans l'UE. Il garantit que le produit est conforme aux réglementations européennes en vigueur qui le concernent. Il est recommandé que l'équipement utilisé dans le système IMPROVEMENT soit préalablement certifié par le fournisseur. L'étiquette énergétique et la documentation relative à la compatibilité électromagnétique⁶ sont nécessaires pour vendre le produit dans l'UE. Par conséquent, les équipements du système IMPROVEMENT doivent également en être dotés.
- S'il existe des équipements qui ne sont pas conformes aux réglementations en vigueur ou au marquage CE, mais qui sont nécessaires à la configuration de l'usine, ils peuvent néanmoins être certifiés. Il existe des entités approuvées par l'infrastructure internationale d'accréditation conforme à la Coopération européenne pour l'accréditation (EA), à la Coopération internationale pour l'accréditation des laboratoires (ILAC) et au Forum international de l'accréditation (IAF), pour obtenir l'accréditation des technologies d'IMPROVEMENT à exporter, réduisant ainsi les obstacles à l'accès aux marchés étrangers.

Aspects liés au financement et au soutien publics.

- Comme pour les bâtiments, un soutien financier est indispensable. Les gouvernements doivent être très impliqués, pour comprendre et soutenir les solutions d'IMPROVEMENT. Les institutions publiques devraient offrir un soutien public spécifique aux systèmes de gestion et d'optimisation des micro-réseaux basés sur l'apprentissage automatique, l'IdO ou les formules d'onduleurs à quatre fils, promus dans le cadre du système IMPROVEMENT.
- Accords des administrations publiques pour soutenir l'optimisation de l'achat/la vente d'électricité vers et depuis le réseau de distribution.
- Soutien public au développement d'outils électroniques et de logiciels de contrôle des micro-réseaux destinés à équilibrer le réseau électrique de distribution et à leur permettre d'effectuer d'autres tâches qui augmentent l'efficacité, la sécurité et la fiabilité de l'ensemble du réseau de services publics et des marchés de l'électricité.

5. https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_es.htm

6. Directive sur la compatibilité électromagnétique (CEM) concernant les appareils ou installations fixes électriques ou électroniques. vise à garantir que tous les produits électriques ou électroniques sont compatibles entre eux d'un point de vue électromagnétique.

- Le soutien public des gouvernements régionaux et nationaux à la mise en place de « **bacs à sable** » **réglementaires**, autorisant des projets pilotes limités, des laboratoires et des opérations expérimentales pour permettre des essais restreints du système IMPROVEMENT dans des bâtiments publics ayant des charges critiques. Les bacs à sable réglementaires sont des bancs d'essai constitués d'environnements expérimentaux où des tests ou des essais peuvent être réalisés, en appliquant des exemptions réglementaires de manière sûre et contrôlée, afin de favoriser l'innovation, la recherche et l'amélioration de la réglementation, en garantissant toujours la qualité et la sécurité de l'approvisionnement, l'absence de risques pour le système électrique et sa viabilité économique et financière, ainsi que la protection des consommateurs finaux.
- Les caractéristiques du produit en phase pré-commerciale font du système IMPROVEMENT un projet idéal pour être financé par des **marchés publics innovants (IPP)**. IPP est un mécanisme de passation de marchés publics visant à promouvoir le développement de nouveaux marchés et dont le client de référence est l'administration publique. Cette collaboration public-privé est mise en œuvre par le biais d'appels d'offres, de contrats ou de marchés publics. Les organismes publics peuvent donc intégrer des solutions innovantes pour améliorer les services publics et trouver de nouvelles et meilleures solutions de gestion qui permettent de répondre plus efficacement aux besoins des citoyens, tout en positionnant le secteur des entreprises à la tête des processus d'innovation commerciale. Il serait souhaitable de mettre en œuvre ce mécanisme dans les régions/États où il n'existe pas, afin qu'il devienne un levier pour la mise en œuvre du projet IMPROVEMENT.
- Le modèle **EaaS (Energy-as-a-Service)** permet d'améliorer l'efficacité et la productivité sans nécessiter d'investissement initial, afin d'atteindre les objectifs de coût, de résilience, de fiabilité et de durabilité pour les clients. Ce modèle transfère la « responsabilité » de l'installation, de la gestion et du financement de l'énergie à une société tierce, qui construit, conçoit et gère les systèmes énergétiques. L'énergie en tant que service offre une structure de propriété flexible et peut représenter la meilleure opportunité de récolter les bénéfices de l'intégration d'un micro-réseau. Il s'agit essentiellement d'un modèle de contrat d'achat d'électricité (CAE). Le client paie une redevance mensuelle pour les frais d'exploitation et un tiers est propriétaire du micro-réseau. De cette manière, il n'est pas nécessaire d'investir du capital et le risque financier est réduit.

Aspects environnementaux.

- **Réduction de la production de déchets** : les réglementations s'efforcent d'accroître la recyclabilité des déchets en Europe. L'annonce ré-

cente d'une nouvelle législation européenne sur les batteries en est un bon exemple. Le système IMPROVEMENT pourrait prendre en compte la manière dont les équipements et les matériaux achetés pour la rénovation des bâtiments sont installés, ainsi que leur durabilité et la possibilité de les démonter à la fin de leur cycle de vie. Des documents tels que la déclaration de performance (DoP) d'un produit aident à définir **ces aspects**.

- **L'économie circulaire:** La Commission européenne a également l'intention d'étendre la directive sur l'écoconception afin de promouvoir la circularité dans les processus industriels, l'utilisation des technologies numériques pour le suivi des ressources et l'obtention d'une marque de certification environnementale de l'UE. La circularité est également renforcée par des mécanismes tels que la **déclaration environnementale de produit (EPD)** qui intègre des informations environnementales sur les produits dans une partie de leur cycle de vie, ainsi que des informations sur les déchets qu'ils génèrent.
- **La directive sur l'éco-conception:** L'ErP (ou Energy Related Product) définit les niveaux minimaux d'efficacité énergétique, les émissions maximales de NOx, la nuisance sonore, le niveau minimal d'isolation accepté dans les accumulateurs d'eau chaude sanitaire, sans lesquels il serait impossible d'obtenir le marquage CE pour commercialiser certains produits en Europe. La directive sur l'écoconception est complétée par la directive sur l'étiquetage énergétique (ELD) ou performance énergétique des produits, qui définit les exigences en matière de consommation d'énergie et les classes d'efficacité, ainsi que la classification **de l'étiquette, de G à A**.
- **Principe du DNSH:** Le principe DNSH ((Ne pas causer de dommages significatifs à l'environnement)) est une condition définie par la Commission qui exige une auto-évaluation pour s'assurer que l'investissement ou la réforme n'a pas d'incidence négative sur un ou plusieurs des six objectifs environnementaux définis dans le règlement 2020/852⁷.
- La réglementation de l'**UE sur la taxonomie des activités économiques durables** : Un nouveau règlement européen qui propose un système de classification clair et transparent pour identifier les activités durables du point de vue de l'environnement. Cette initiative a été proposée comme un instrument clé permettant à l'Europe d'atteindre ses objectifs ambitieux en matière de climat et d'environnement, et aux générations futures de profiter d'un monde plus vivable et plus durable.

4. Feuille de route pour l'implémentation du projet IMPROVEMENT.

Ce chapitre décrit une proposition de feuille de route pour la mise sur le marché et l'implémentation dans les bâtiments publics nouveaux ou existants du système IMPROVEMENT et de ses composants. Cette feuille de route peut guider le processus dans les domaines où une action est nécessaire:

- Le cadre de certification nécessaire pour les bâtiments publics ayant des charges critiques et la légalisation qui s'ensuit pour leur conversion en nZEB, ainsi que pour l'incorporation légale des sous-systèmes qui forment le système IMPROVEMENT.
- Le cadre de certification nécessaire pour les technologies couvertes par le système IMPROVEMENT et le type de micro-réseau proposé.
- En résumé, ce chapitre présente une série de feuilles de route avec des étapes provisoires, pour certifier et mettre sur le marché les produits inclus dans la technologie impliquée dans le système IMPROVEMENT destiné aux bâtiments publics avec des charges critiques.

FEUILLE DE ROUTE POUR LA LÉGALISATION DES NZEB AVEC LES MICRO-RÉSEAUX D'ÉNERGIE ET LES CHARGES CRITIQUES.

Il est nécessaire d'aborder cette question en raison du manque de réglementation administrative, technique et juridique nécessaire à l'**installation de technologies dans les bâtiments tertiaires situés dans des zones non industrielles.**

La modification du cadre législatif est généralement motivée par une ligne politique ou par un besoin du marché. Dans ce cas, la ligne politique aux niveaux international, européen et national, engagée en faveur de la décarbonisation, est favorable à la modification de la réglementation en termes de promotion des technologies impliquées dans ce projet.

Avant de proposer les phases et les actions qui rendraient la légalisation du système IMPROVEMENT viable en Europe, il est nécessaire d'aborder une série d'étapes clés avant le lancement du système sur le marché:

1. Les limites du projet et la coopération transfrontalière des acteurs impliqués dans le développement du système IMPROVEMENT et du modèle d'entreprise du projet doivent d'abord être établies.

2. Intégration de la législation et de la réglementation pour les usages technologiques présents dans le système IMPROVEMENT qui ne sont pas contraignants pour les bâtiments installés dans des zones non industrielles (systèmes de génération avec des énergies renouvelables, systèmes d'échange de chaleur (par exemple, énergie géothermique), systèmes de stockage et infrastructures avec des matériaux nocifs, électrolyseurs et piles à combustible, ...).
3. **Explorer la création d'un marché de l'énergie thermique (chauffage/refroidissement urbain)** dans les pays où il n'existe pas.
4. **Promouvoir l'adoption de nouveaux modèles commerciaux pour les services que le micro-réseau peut fournir à d'autres réseaux énergétiques** : vente de garanties d'origine, services auxiliaires (soutien de la tension, soutien de la rampe, fourniture de puissance réactive, etc.), qui eux-mêmes produiront des flux de revenus supplémentaires au-delà de la simple fourniture d'énergie. Les régulateurs des systèmes énergétiques devraient également structurer des règles qui permettent **une répartition équitable des coûts d'interconnexion et de maintenance des réseaux de transport et de distribution**. Des incitations économiques seraient même nécessaires **pour promouvoir l'intégration des micro-réseaux dans les mesures de sécurité d'approvisionnement du réseau et dans la planification à long terme du système**.

Comme indiqué précédemment, la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD NZEB)⁸, applicable à tous les États membres de l'UE, stipule qu'à partir de janvier 2019, tous les nouveaux bâtiments du secteur public devront être conformes à la norme nZEB.

La technologie développée pour le projet IMPROVEMENT peut permettre d'atteindre ces normes. L'aspect **différentiel** du projet qui ajoute de la valeur en tant que modèle d'entreprise est que l'élaboration des propositions vise à couvrir les besoins énergétiques critiques des bâtiments publics, par opposition à ce que l'on pourrait appeler les charges ordinaires.

La feuille de route pour la légalisation des bâtiments nZEB avec des charges critiques dans lesquels le système IMPROVEMENT peut être mis en œuvre peut être établie dans les phases suivantes:

8. DIRECTIVE (UE) 2018/844 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 30 mai 2018 modifiant la directive 2010/31/UE sur l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et la directive 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique...

Phase 1 : définition du cadre taxonomique pour les bâtiments à charge critique.

Cette phase implique:

- Analyse des réglementations existantes qui fixent des exigences pour les bâtiments publics soumis à des charges critiques.
- Élaboration de réglementations qui harmonisent et fixent des exigences pour les bâtiments publics ayant des charges critiques lorsqu'elles sont manquantes.
- Définition d'une norme technique et d'une taxonomie pour les bâtiments soumis à des charges critiques.

Phase 2. Harmonisation de la directive EPBD NZEB.

Les bâtiments dans lesquels le système IMPROVEMENT doit être intégré doivent être des bâtiments nZEB. En ce sens, il doit y avoir une norme technique pour toutes les régions SUDOE, spécifiant les exigences qu'un bâtiment doit respecter pour être certifié comme nZEB. Par conséquent, une norme technique harmonisée avec des exigences techniques nZEB pour toutes les régions SUDOE est nécessaire.

Phase 3 Définir de façon harmonisée le concept de micro-réseaux dans les bâtiments.

Tout d'abord, **il est nécessaire d'unifier juridiquement la définition de «micro-réseau»**, en clarifiant les exigences légales et réglementaires concernées, les schémas techniques autorisés, leur propriété, etc.

Une définition commune des micro-réseaux pour la fourniture de froid, de chaleur et d'électricité aux bâtiments publics ayant des charges critiques dans des conditions d'assurance qualité devrait être proposée et approuvée.

Phase 4 Mise en place d'un système de labellisation nZEB similaire au label espagnol VERDE.

- Examen des sceaux de certification dans la région SUDOE, comme celui de VERDE.

- Conception et mise en œuvre d'un label de certification nZEB.

Phase 5 Simplification et harmonisation des procédures administratives pour la mise en place de micro-réseaux dans les bâtiments publics.

- Analyse des procédures administratives pour l'achat de produits et de services dans les bâtiments publics.
- Simplification et harmonisation des règles administratives pour les appels d'offres publics et autres financements pour l'achat de produits et de services impliqués dans l'intégration des micro-réseaux.

Phase 6 Mise en œuvre de programmes de soutien économique et fiscal pour:

- Obtention de certificats de construction nZEB.
- La conception d'actions pour la transformation de bâtiments publics avec des charges critiques en bâtiments nZEB par le biais de micro-grids, et,
- L'implémentation de micro-réseaux dans les bâtiments publics à charge critique afin de les transformer en bâtiments NZEB.

La feuille de route de cette section n'est pas fournie en raison de la difficulté d'estimer la durée des phases indiquées, étant donné que leur exécution implique l'intervention de nombreuses organisations nationales et internationales.

FEUILLE DE ROUTE POUR LA CERTIFICATION DU SYSTÈME IMPROVEMENT.

La feuille de route pour la certification et la mise sur le marché de tous les équipements et systèmes inclus dans la technologie proposée par le projet IMPROVEMENT peut être établie dans les phases suivantes :

Phase 1. Développement technique de composants et de systèmes dans un environnement de simulation (TRL 6).

DESCRIPTION.

Le système IMPROVEMENT et ses composants (équipements, systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie et communications) doivent at-

teindre une maturité commerciale depuis leur état actuel dans différents niveaux de TRL jusqu'à au moins la démonstration d'un modèle de système, d'un sous-système ou d'un prototype au niveau de TRL 6 dans un environnement pertinent.

OBJECTIF.

Développement et validation du système IMPROVEMENT jusqu'à atteindre le TRL 6 pour les équipements et les composants.

ACTIVITÉS.

A1. Achèvement du protocole d'analyse du système et de ses composants dans le cadre de tests et d'essais sur le terrain des pilotes CNH2 et LNEG en vue de sa future mise en œuvre à l'échelle réelle.

COMMENCEMENT.

Mois 1.

DURÉE ESTIMÉE.⁹

Deux ans.

ÉTAPES IMPORTANTES.

M1. Validation du système IMPROVEMENT dans un environnement pertinent.

Phase 2. Démonstration et validation du système IMPROVEMENT en environnement réel (TRL 7).

DESCRIPTION.

Actions pour la mise en œuvre et la validation du système IMPROVEMENT et de ses composants (équipements, systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie et communications) jusqu'à l'obtention du niveau TRL 7 Validation du système dans un environnement réel.

OBJECTIF.

Implémentation et validation du système IMPROVEMENT jusqu'à ce que le niveau TRL 7 soit atteint et que le premier prototype ou démonstrateur soit disponible à un niveau non commercialisable.

ACTIVITÉS.

A1. Implémentation du système IMPROVEMENT dans un environnement réel et vérifié.

COMMENCEMENT.

Mois 25.

9. Les durées estimées à tous les stades dépendent largement des décisions prises en matière de certification. Le chronométrage de l'organisme de certification sera celui qui marquera la durée de l'activité..

DURÉE ESTIMÉE.¹⁰

Tres años.

ÉTAPES IMPRTANTES.**M1. Validation du système IMPROVEMENT dans un environnement pertinent.**

Phase 3. Certification des équipements dans un environnement réel (TRL 8).

DESCRIPTION.

Les équipements et les composants qui font partie de la technologie du système IMPROVEMENT doivent être certifiés avec le marquage CE, la compatibilité électromagnétique et avoir le label d'efficacité énergétique.

Équipements et composants utilisés dans l'usine pilote CNH2.

- Générateur photovoltaïque.
- Générateur éolien.
- Onduleurs.
- Pile à combustible polymère.
- Électrolyseur alcalin.
- Batteries au lithium-ion.
- Batterie à supercondensateur.
- Forages géothermiques.
- Pompe à chaleur géothermique (eau - eau).
- Pompe à chaleur pour bâtiment (air - eau).
- Stockage de MCP. Système de chauffage.
- Stockage de MCP. Système de froid.
- Réservoirs de stockage d'hydrogène.
- Composants d'intégration du système:
 - ▶ Boîtiers/tubes d'échangeurs de chaleur.
 - ▶ Échangeur thermique à plaques.
 - ▶ Réservoirs de stockage d'eau chaude et d'eau froide.
 - ▶ Réservoirs de stockage d'inertie.
 - ▶ Pompes hydrauliques.
 - ▶ Pompes à vis.
 - ▶ Tuyaux.
 - ▶ Systèmes de mesure, de contrôle et d'instrumentation.

Équipements et composants utilisés dans l'usine pilote LNEG.

- Générateur photovoltaïque.
- Générateur éolien.
- Onduleurs.
- Batteries.

¹⁰. Les durées estimées à tous les stades dépendent largement des décisions prises en matière de certification. Le chronométrage de l'organisme de certification sera celui qui marquera la durée de l'activité.

- Pompe à chaleur pour bâtiment (air- eau).
- Composants d'intégration du système:
 - ▶ Systèmes de mesure, de contrôle et d'instrumentation.
 - ▶ Réservoirs de stockage d'eau chaude et d'eau froide.
 - ▶ Réservoirs de stockage d'inertie.
 - ▶ Cartes MCP.
 - ▶ Systèmes de mesure, de contrôle et d'instrumentation.

OBJECTIF.

Certification des équipements du système IMPROVEMENT.

ACTIVITÉS.

A1. Identification des certifications auxquelles chaque équipement et composant doit se conformer.

Si un équipement ou un produit non certifié doit être intégré dans le micro-réseau, alors:

A2. Identifier les organismes de certification pour certifier les produits qui ne le sont pas.

A3. Certification des produits ou des équipements.

Si des équipements et des composants déjà certifiés doivent être préférés pour leur intégration dans le micro-réseau, l'activité à réaliser doit être la suivante:

A4. Achat d'équipements et de composants déjà certifiés.

COMMENCEMENT.

Mois 6].

DURÉE ESTIMÉE¹¹.

Six mois, s'il est nécessaire de certifier un équipement ou un composant.

Si tous les équipements et composants étaient certifiés, il ne serait pas nécessaire d'entreprendre cette phase.

ÉTAPES IMPORTANTES.

M1. Produits certifiés.

Phase 4. Certification des systèmes de contrôle et de puissance (TRL8).

DESCRIPTION.

Les équipements et les composants qui font partie de la technologie du système IMPROVEMENT doivent être certifiés avec le marquage CE, la compatibilité électromagnétique et avoir le label d'efficacité énergétique.

¹¹. Les durées estimées à tous les stades dépendent largement des décisions prises en matière de certification. Le chronométrage de l'organisme de certification sera celui qui marquera la durée de l'activité.

OBJECTIF.

Les systèmes de contrôle et de puissance doivent être certifiés conformément à la réglementation en vigueur et de manière appropriée pour être commercialisés en Europe. L'intégration correcte avec les composants technologiques du micro-réseau doit être assurée.

ACTIVITÉS.

A1. Certification du système de contrôle. Identification des certifications fournies par le fabricant. Lancement d'un processus de certification ou acquisition d'un système de contrôle certifié au cas où une certification serait nécessaire.

A2. Certification du système d'alimentation. Identification des certifications fournies par le fabricant et, le cas échéant, lancement d'un processus de certification ou acquisition d'un système de contrôle certifié.

COMMENCEMENT.

Mois 6].

DURÉE ESTIMÉE.¹²

Six mois, si la certification du système est nécessaire. **Si tous les systèmes sont certifiés, il n'est pas nécessaire d'entreprendre cette phase.**

ÉTAPES IMPORTANTES.

M1. Système de contrôle certifié.

M2. Système d'alimentation certifié.

Phase 5. Certification des communications, des systèmes informatiques, de la plateforme IoT (TRL 8).

DESCRIPTION.

Les communications, les systèmes informatiques et la plateforme IoT doivent être conformes à toutes les réglementations en vigueur et aux normes européennes.

OBJECTIF.

Les communications, les systèmes informatiques et la plateforme IoT doivent être conformes aux réglementations et à la normalisation en vigueur de manière appropriée pour être commercialisés en Europe.

ACTIVITÉS.

A1. Certification de toutes les communications.

A2. Certifications des systèmes informatique.

A3. Configuration de la plateforme IoT conforme aux normes.

¹². Les durées estimées à tous les stades dépendent largement des décisions prises en matière de certification. Le chronométrage de l'organisme de certification sera celui qui marquera la durée de l'activité.

COMMENCEMENT.

Mois 61.

DURÉE ESTIMÉE.¹³

Six mois, s'il est nécessaire de certifier un équipement ou un composant. **Si tous les systèmes sont certifiés, il n'est pas nécessaire d'entreprendre cette phase.**

ÉTAPES IMPRANTES.

M1. Communications certifiées.

M2. Système informatique certifié.

M3. Plateforme IoT certifiée.

Phase 6. Essais réussis du système dans des environnements réels et certification du micro-réseau (TRL 9).

DESCRIPTION.

Le micro-réseau IMPROVEMENT soutenu par des sources d'énergie renouvelables avec production combinée de chaleur, de froid et d'électricité, ainsi que des systèmes de stockage hybrides, doit être certifié. Pour ce faire, il sera nécessaire de sélectionner des organismes de certification, de demander des devis et d'entamer le processus de certification.

OBJECTIF.

Certification du fonctionnement du micro-réseau conformément aux performances attendues et aux caractéristiques fonctionnelles et techniques.

ACTIVITÉS.

A1. Certification du micro-réseau.

COMMENCEMENT.

Mois 67.

DURÉE ESTIMÉE.¹⁴

18 mois. En fonction des délais estimés par l'autorité de certification.

ÉTAPES IMPORTANTES.

M1. Micro-réseau certifié.

13. Les durées estimées à tous les stades dépendent largement des décisions prises en matière de certification. Le chronométrage de l'organisme de certification sera celui qui marquera la durée de l'activité.

14. Les durées estimées à tous les stades dépendent largement des décisions prises en matière de certification. Le chronométrage de l'organisme de certification sera celui qui marquera la durée de l'activité.

Le calendrier de cette feuille de route est présenté ci-dessous:

	Y1		Y2		Y3		Y4		Y5		Y6		Y7	
	M1	M7	M13	M19	M25	M31	M37	M43	M49	M55	M61	M67	M73	M79
PHASE 1. Technical development of components and systems in simulation environment (TRL 6)														
PHASE 2. Demonstration and validation of the IMPROVEMENT system in real environment (TRL 7)														
PHASE 3. Equipment certification in a real environment (TRL 8)														
PHASE 4. Certification of control and power systems (TRL 8)														
PHASE 5. Certification communications, IT systems, IoT platform (TRL 8)														
PHASE 6. Successful system testing in real environments, and microgrid certification (TRL 9)														

5. Conclusions, leçons tirées et potentiel du système IMPROVEMENT.

Le développement des tâches réalisées par les bénéficiaires du projet IMPROVEMENT, ainsi que la collaboration des entités associées, ont permis d'acquérir une expérience et des connaissances avancées sur les équipements qui font partie de la solution technologique pour la production et le stockage d'énergie, les systèmes de contrôle et de puissance, et les éléments qui rendent possible le fonctionnement optimal et continu du micro-réseau.

Le projet IMPROVEMENT concerne la région SUDOE, une zone très vulnérable aux effets du changement climatique, avec des besoins importants de climatisation en été et de chauffage en hiver. Mais le projet propose aussi des solutions dans les bâtiments publics ayant des charges critiques dans des pays ayant une climatologie similaire.

Cette dernière section présente une série de conclusions, de leçons apprises et une proposition visant à étendre les fonctionnalités du projet IMPROVEMENT actuel, dans le respect de la réglementation en vigueur.

CADRE RÉGLEMENTAIRE ET FINANCIER INTERNATIONAL FAVORABLE ACTUEL.

- Les conditions sont favorables à la diffusion internationale de cette initiative. Le cadre législatif européen trace une voie qui peut être matérialisée dans les plans de redressement, de transformation et de résilience, dont les composantes sont pleinement cohérentes avec l'incorporation des propositions et des objectifs du projet IMPROVEMENT.
- L'instabilité actuelle de la géopolitique internationale, qui réduit la disponibilité des ressources en énergie fossile dont l'Europe dépend, rend nécessaire de favoriser les moyens de l'indépendance énergétique et d'accroître les stratégies qui favorisent les économies d'énergie et l'efficacité énergétique. La volatilité des prix de l'électricité est une réalité, à laquelle s'ajoute l'urgence que représentent le changement climatique et la nécessité de décarboner l'économie.
- La promotion de projets visant à améliorer les infrastructures énergétiques, les réseaux intelligents, le déploiement de technologies de flexibilité et de stockage, la nécessité d'améliorer la construction et la

réhabilitation des bâtiments existants afin de réduire la pauvreté énergétique endémique, le soutien aux nouveaux modèles d'entreprise et aux projets innovants en matière d'intégration des secteurs intelligents, ... sont à l'ordre du jour de toutes les politiques énergétiques.

- Le paquet énergie propre pour tous les européens, qui comprend des dispositions législatives visant à réglementer le stockage de l'énergie, l'Alliance européenne des batteries, la stratégie européenne pour l'hydrogène lancée en collaboration avec l'Alliance européenne pour l'hydrogène propre, sont autant d'initiatives visant à promouvoir les technologies de stockage de l'énergie en Europe.
- Le système IMPROVEMENT permettrait non seulement de résoudre la question de l'approvisionnement en énergie, du développement de systèmes de stockage hybrides et du développement de mécanismes actifs et passifs pour réduire la demande énergétique des bâtiments, mais il répondrait également à d'autres obligations réglementaires du spectre environnemental (réduction des déchets, économie circulaire, écoconception, principe DNSH, Taxonomie des activités économiques durables).
- Le contexte géopolitique international et le cadre réglementaire actuel y sont évidemment propices. En résumé, **les systèmes proposés dans le cadre du projet IMPROVEMENT s'inscrivent pleinement dans les besoins actuels de décarbonisation des bâtiments, un enjeu clé pour atteindre les objectifs à l'horizon 2030 et 2050.**

NICHE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES PROPOSITIONS TECHNOLOGIQUES.

- L'allongement de la durée de vie des batteries et autres équipements et le recyclage de certains de leurs matériaux pour la fabrication de nouveaux composants constituent un défi ainsi qu'une opportunité pour de nouveaux modèles d'entreprise. Mais au-delà, **le système IMPROVEMENT a développé une stratégie de gestion innovante qui augmente la résilience et la durabilité des équipements**, tout en garantissant l'approvisionnement en qualité et en quantité. On peut certainement lui reconnaître le mérite d'avoir pris en compte l'économie circulaire dans sa conception.
- Le système IMPROVEMENT rend nécessaire le développement et l'introduction de **protocoles et de dispositifs de cybersécurité** qui permettent l'interopérabilité dans l'infrastructure électrique, afin d'ajouter une plus grande **sécurité** dans les micro-réseaux en termes d'architecture, réduisant ainsi la **vulnérabilité** de ces derniers en raison de problèmes techniques et de service.

- Le système IMPROVEMENT intègre le sous-comptage, une formule très innovante de contrôle à haute résolution des équipements qui, à l'avenir, sera plus que probablement la norme.
- L'utilisation des réseaux intelligents et de l'Internet des objets (IoT) dans le système d'amélioration ouvre la voie à une nouvelle façon d'optimiser les micro-réseaux énergétiques, en intégrant un système d'apprentissage qui recueille des informations sur la consommation, la production, le stockage, à partir du réseau d'utilité publique, de manière autonome et automatique, par le biais d'algorithmes prédictifs.

NOUVELLES CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME IMPROVEMENT.

Vous trouverez ci-dessous des propositions de nouvelles fonctionnalités pour le système IMPROVEMENT qui peuvent augmenter sa valeur ajoutée sur la base des réglementations en vigueur et des tendances du marché.

NOUVELLES CARACTÉRISTIQUES

Le projet IMPROVEMENT pourrait développer la fonctionnalité de recharge des véhicules électriques.

Création d'un coordinateur de la demande si la technologie du projet IMPROVEMENT était installée dans un nombre important de bâtiments publics (et/ou de bâtiments ayant des charges énergétiques critiques), un nouvel acteur, un coordinateur de la demande, pourrait être ajouté pour participer aux marchés de l'électricité.

IMPROVEMENT Réseau énergétique des bâtiments publics. Les bâtiments utilisant la technologie IMPROVEMENT pourraient être considérés comme des bâtiments efficaces à interaction avec le réseau (GEB). Ces bâtiments pourraient partager un système de gestion de l'énergie commun, de sorte que leurs micro-réseaux pourraient servir de système de secours en cas de panne d'électricité dans l'un des autres bâtiments.

Le système IMPROVEMENT intègre une formule très innovante de suivi à haute résolution des équipements : le **sous-comptage**, qui sera très probablement la norme à l'avenir.

Le projet IMPROVEMENT pourrait promouvoir des exigences **futures concernant la réglementation du temps pour l'éclairage extérieur des bâtiments** et l'éclairage des infrastructures et des routes, s'il s'agit de charges critiques.

Le projet **IMPROVEMENT pourrait être un élément d'optimisation pour le chauffage** et la climatisation dans les bâtiments résidentiels.

Interreg Sudoe



EUROPEAN UNION

AIMPROVEMENT

European Regional Development Fund