



# Interreg



## France ( Channel Manche ) England

**RAPPORT 2.1.1 ICE**

**TRANSITIONS INTELLIGENTES DES TERRITOIRES PÉRIPHÉRIQUES : ANALYSE DOCUMENTAIRE ET SITUATION ACTUELLE**

*19/06/18*

George Jr. Matthew, Oscar Fitch-Roy, Peter Connor et Bridget Woodman, Université d'Exeter



## À propos d'ICE

Soutenu par Interreg VA France (Manche) Angleterre, le projet Énergie communautaire intelligente vise à concevoir et à introduire des solutions innovantes et intelligentes en matière d'énergie pour les territoires isolés des îles anglo-normandes. Les îles et les territoires isolés font face à un véritable défi en termes de politique énergétique. De nombreuses îles ne sont pas raccordées à des systèmes de distribution d'électricité plus larges, et sont dépendantes des ressources énergétiques importées, généralement à base de combustibles fossiles. Les systèmes énergétiques dont dépendent ces communautés isolées ont tendance à être moins fiables, plus coûteux, et à émettre davantage de gaz à effets de serre que les réseaux du continent. En réponse à ces problèmes, le projet ICE prend en considération l'intégralité du cycle énergétique, de la production à la consommation, et intègre des technologies nouvelles ou établies de manière à délivrer des solutions innovantes pour les systèmes énergétiques. Ces solutions seront mises en œuvre et testées sur nos sites de démonstration pilote (l'île d'Ouessant et le campus universitaire d'East Anglia), pour des études de faisabilité, et afin de développer un modèle général pour parvenir à un système énergétique intelligent dans les zones isolées. Le consortium ICE rassemble des chercheurs et des organismes de soutien aux entreprises de France et du Royaume-Uni, et l'engagement avec les PME portera les projets de déploiement et fera la promotion d'une coopération européenne.



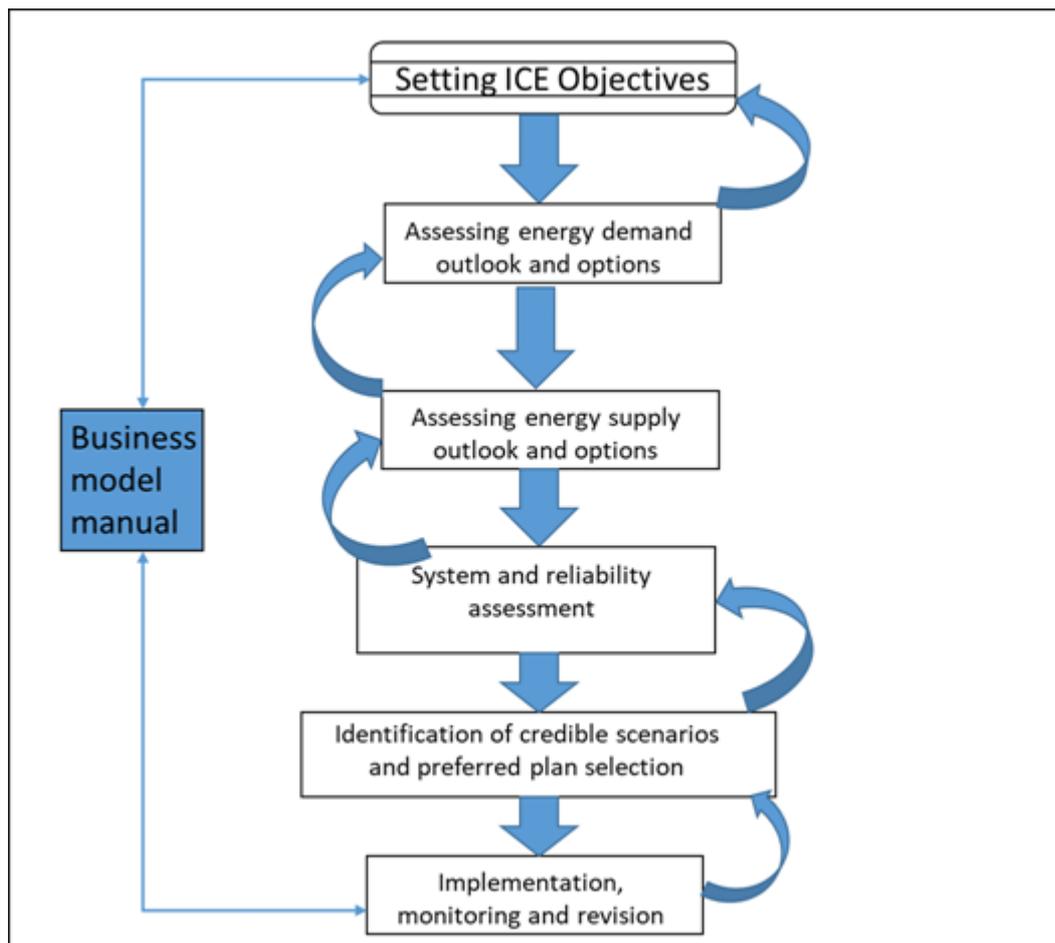
## Résumé

Il existe un large éventail de documents pertinents sur les transitions intelligentes en matière d'énergie sur les îles. Les aperçus offerts par la documentation générale portant sur l'aménagement des réseaux électriques ont été incorporés dans une littérature naissante produite par des praticiens et des analystes qui se sont penchés sur les énergies intelligentes sur les îles. En même temps, de nombreuses îles ainsi que d'autres communautés périphériques se sont lancées dans des transitions énergétiques intelligentes ou durables. La combinaison des diverses approches de modélisation numérique souvent utilisées pour guider la planification des décisions et de ce qui peut être appris au travers des expériences concrètes fournit une vue d'ensemble des opportunités et des défis rencontrés par les systèmes énergétiques sur les îles. Ce rapport suggère également un certain nombre de bonnes pratiques et quelques conseils généraux pouvant transcender toutes les variations dans les contextes physique, économique, et culturel propres à chaque île. Parmi ces pratiques et conseils, ceux qui sont proposés sont les suivants :

- **L'adoption des nouvelles technologies** : Les défis relativement importants rencontrés par les systèmes énergétiques sur les îles font que le recours aux nouvelles technologies sera un atout particulièrement précieux.
- **L'engagement des communautés locales** : Créer une nouvelle forme de système énergétique ne peut pas être imposé par le sommet à la base. Il est vital que, non seulement l'engagement de la communauté ne soit pas perçu que comme un simple outil permettant de faire disparaître toute résistance aux changements, mais que la nature, le timing et l'ampleur des changements soient le résultat de véritables échanges et discussions au sein du groupe de participants.
- **L'implication des entreprises locales** : Les bénéfices économiques à long-terme engendrés par la transition énergétique pourraient être associés à la fourniture en cours de produits et services par les entreprises insulaires.
- **L'investissement dans les capacités et les compétences** : Dans de nombreuses petites communautés, les compétences demandées pour entreprendre une transition des systèmes énergétiques sont très limitées. Des décisions stratégiques à propos des compétences devant être favorisées et encouragées pourraient engendrer une résilience économique à long-terme.
- **La considération de modèles économiques alternatifs** : Il peut arriver que les dirigeants de la collectivité ou les entreprises énergétiques locales privées soient plus appropriées et plus à même de gérer certains cas de figure dans les régions insulaires que le modèle économique traditionnel du service public.
- **S'appuyer sur ses atouts tout en restant réaliste quant aux options d'approvisionnement** : De nombreuses îles possèdent d'impressionnantes ressources énergétiques, mais la concentration se fait seulement sur une ou deux ressources, limitant ainsi la possibilité de s'appuyer exclusivement sur ces dernières.
- **L'utilisation raisonnée de l'énergie** : Réduire les pics de demande et rendre cette demande plus réactive aux ressources disponibles peut diminuer le coût de génération et de distribution et contribuer activement à la fiabilité du système.

Ces bonnes pratiques ont été pensées dans une série d'actions interconnectées, rassemblées dans un guide pour les communautés insulaires en quête d'une transition énergétique intelligente. La méthodologie d'ICE pour la transition énergétique incorpore et explique sept étapes clés et est consignée dans le document T2.1.2 d'ICE.





# Table des matières

Résumé .....	ii
1. Introduction .....	1
2. Approches de l'analyse des programmes de transition énergétique intelligente sur les territoires insulaires.....	2
2.1 Étude des transitions énergétiques intelligentes sur les territoires insulaires .....	3
2.2 Modélisation des systèmes isolés.....	3
2.3 Étude des réalisations existantes .....	4
3. Transitions énergétiques intelligentes déjà en cours sur les îles .....	6
3.1 Les îles européennes .....	7
3.2 Reste du monde .....	12
3.3 Discussion sur des cas réels .....	15
4. Transition intelligente des territoires périphériques : opportunités, défis et meilleures pratiques.....	21
4.1 Opportunités.....	21
4.2 Défis .....	22
4.3 Meilleures pratiques.....	23
4.4 Conclusion.....	25
5. L'approche méthodologique d'ICE.....	26
5.1 Introduction à la méthodologie d'ICE.....	26
Remerciements.....	29
Références .....	30



## Liste des figures

Figure 3.1 Localisation géographique des études de cas .....	6
Figure 5.1 Vue schématique de l'approche méthodologique d'ICE .....	28



## Liste des tableaux

Tableau 4.1 Liste des bonnes pratiques résultantes d'analyses précédentes .....	25
---	----



# 1. Introduction

Le projet d'ICE vise à mettre à disposition un guide pour les communautés isolées, afin de développer un programme de transition vers un système énergétique plus intelligent, intégrant une génération électrique à faible taux de carbone ainsi qu'une réduction de la demande. Ce document présente une méthode générale du programme à suivre pour arriver à une transition énergétique intelligente, destinée aux communautés isolées : la méthodologie d'ICE.

Ce document dresse un état des lieux de la situation actuelle sur les territoires insulaires en matière de transition énergétique intelligente. Il est complémentaire au document T2.1.2, qui matérialise les constatations sous la forme d'une « méthodologie ICE ». Cela commence par un examen de plusieurs exemples de transitions énergétiques intelligentes en milieu insulaire avec une expérience établie en ce qui concerne la détermination des approches connues de la planification des systèmes électriques en général, et des îles à réseau électrique intelligent en particulier. La synthèse qui en résulte est une proposition de méthodologie générale pouvant être appliquée pour l'établissement de plans de transition énergétique intelligente. L'approche sera validée pour différentes îles ou communautés périphériques dans le cadre de la mise en œuvre du projet en cours d'ICE.

La seconde partie du document examine plusieurs programmes d'énergie intelligente en vigueur dans des territoires isolés. Une vue d'ensemble des différentes manières de comprendre la transition énergétique intelligente, comme par exemple en modélisant et en procédant à des mises en œuvre pratiques, est présentée. Puis, en s'appuyant sur un certain nombre d'exemples européens et internationaux, l'ampleur de la transition énergétique intelligente passée et actuelle des territoires insulaires et des projets associés est examinée. Une discussion sur les enseignements tirés de la mise en œuvre de ces projets et stratégies est engagée sur la base de plusieurs critères clés incluant la sélection et les impacts technologiques, la politique générale et le développement durable, les implications économiques et financières, ainsi que l'engagement des parties prenantes. À partir de ces discussions, quelques opportunités et défis clés de la transition énergétique intelligente dans les zones isolées et périphériques sont mises en avant. La troisième partie du document expose les considérations spécifiques de la méthodologie générique proposée pour la transition énergétique intelligente des systèmes isolés. La vue d'ensemble conceptuelle de la méthodologie est présentée. Le raisonnement derrière ce choix de cadre de travail est étayé.



## 2. Approches de l'analyse des programmes de transition énergétique intelligente sur les territoires insulaires

Cette section expose les principales approches disponibles pour l'analyse des programmes en matière d'énergie intelligente sur les territoires insulaires. Le projet d'ICE de concevoir et mettre en œuvre des solutions innovantes en matière d'énergie intelligente sur les territoires isolés de la zone britannique de la Manche s'inscrit parfaitement dans la tendance mondiale vers le développement énergétique durable. À mesure que les exigences environnementales et sociales sur les systèmes électriques évoluent, on s'éloigne des systèmes centralisés traditionnels passifs basés sur des approvisionnements en énergie fossile, pour se tourner vers un système plus dynamique, décentralisé, et à faibles émissions de carbone, doté de technologies plus intelligentes et accordant davantage d'importance à la pertinence architecturale. Cela inclut les systèmes isolés, qui ont souvent servis de bancs d'essai pour les changements (Vallvé, 2013; Programme Énergétique des Territoires Insulaires, 2016). Les futurs systèmes électriques devront être observables, contrôlables, automatisés et totalement intégrés (Bompard *et al.*, 2012). Ces systèmes devraient intégrer intelligemment les actions de tous les usagers qui y sont raccordés – producteurs, consommateurs, acteurs faisant les deux (« prosommateurs »), et autres prestataires de services réseau et marché potentiels ou existants, afin d'assurer un approvisionnement en électricité sécurisé, économique, et durable. Pour atteindre ces objectifs, des changements significatifs sont nécessaires, qu'ils soient d'ordre social ou technologique. Ces changements devront être effectifs aussi bien sur le court que sur le long terme (US DoE, 2004). Les technologies « intelligentes » habilitantes requises par un tel système peuvent être décrite comme un mélange de collecte de données, de traitement et de facilitation opérationnelle (MIT, 2011).

Les conditions, d'un point de vue individuel, pour les communautés périphériques isolées, sont extrêmement diverses. Il existe des différences de climat, d'économies, de disponibilité en matière de ressources énergétiques, de contexte politique et institutionnel, et de culture (IEA, 2012). Cette spécificité en ce qui concerne le contexte de chaque île signifie que l'on ne peut pas appliquer le même mode opératoire sur chacun des territoires insulaires existant, et qu'il faut tenir compte des caractéristiques propres à chacun d'entre eux pour réaliser une transition énergétique durable. Par conséquent, une appréciation du contexte spécifique est le point de départ d'un programme visant à guider ou à promouvoir une transition énergétique orientée vers un système électrique plus intelligent pour chacune des communautés isolées ou périphériques. Cependant, certaines expériences continuent à se reproduire sur ces différents territoires, offrant des exemples d'écueils courants, et suggérant des modèles pouvant contribuer à la mise en place de meilleures pratiques. Les sections suivantes examinent l'état actuel de l'art sur les îles à énergie intelligente selon une politique de développement durable, et tirent de l'expérience acquise des leçons générales pouvant être mises en pratique.

La section 2.1 met en avant des considérations générales pour l'étude des énergies durables sur les territoires insulaires ; la section 2.2 discute des approches de modélisation des réseaux insulaires, et la section 2.3 donne un aperçu de l'étude sur les programmes existants en cours.



## 2.1 Étude des transitions énergétiques intelligentes sur les territoires insulaires

Les systèmes sur les petites îles ont été très largement étudiés ces dix dernières années en tant que « laboratoires vivants » afin de trouver des solutions en matière d'énergie durable. Par exemple, de nombreuses îles et territoires périphériques européens (comme Pellworm et Samsø (ISRER, 2010; Visit Samsøe, 2017)) ont commencé à considérer que la transition pouvait un jour être basée sur les énergies renouvelables dès les années 90. Tandis que les énergies renouvelables sont devenues plus courantes dans ces systèmes et représentaient des volumes de production plus importants, il est devenu évident que l'intégration de multiples technologies de génération allait pouvoir être faite plus efficacement selon des approches systémiques plus intelligentes, plutôt que l'approche passive traditionnelle. Des approches similaires se sont répandues, visant à faciliter l'élargissement de l'accès en énergie, mais aussi à améliorer la sécurité générale des approvisionnements sur les petites îles en voie de développement. Ceci inclut les îles des océans Pacifique et Indien, ainsi que des Caraïbes (SmileGov, 2009; IRENA, 2014a, 2014b, 2015, 2017; ETI, 2017). Cela a abouti à un riche référentiel de données disponibles pour les concepteurs de système électrique, les modélisateurs, et les responsables politiques. Ces études préalables fournissent une perspective utile sur le type et la qualité du futur système électrique envisageable. En reconnaissant les dynamiques uniques et les niveaux de complexité souvent faibles des petits systèmes isolés, on peut transférer les résultats de ces études à d'autres systèmes électriques insulaires qui se lancent dans une transition énergétique intelligente. Les approches actuelles, ainsi que celles en cours sur la transition énergétique intelligente, sont des clés pour pouvoir établir de meilleures pratiques afin que les systèmes d'énergie durable soient un succès. Les mises en œuvre devant être entreprises pourraient inclure des facteurs opérationnels et architecturaux, ainsi que la prise en compte de la nécessité d'une politique nouvelle, de stratégies d'investissements réajustées, aussi bien pour la production, la distribution ou le stockage, que pour la consommation d'électricité. Essentiellement, les technologies à faible émissions de carbone sont essentielles à la transition énergétique. En les adoptant, il est primordial de pouvoir les intégrer au système de travail. Si la politique réglementaire ne change pas, cela portera préjudice à la croissance des technologies à faibles émissions de carbone, essentielles au système électrique, et il deviendra difficile de maintenir une fiabilité acceptable ainsi que de nouvelles normes de durabilité (MIT, 2011). Il y a deux sources principales de connaissances sur la façon dont les systèmes électriques des îles répondent à l'introduction de nouvelles technologies et de nouvelles pratiques : la création et l'interrogation des modèles numériques, et l'observation brute des mises en œuvre sur le terrain. Les modèles numériques sont principalement utilisés pour la conception des détails du système et des politiques, alors que les observations brutes apportent des expériences pratiques, de terrain, qui peuvent être utiles au moment d'apporter des informations sur les événements réels qui touchent le système.

## 2.2 Modélisation des systèmes isolés

Les outils analytiques et de conception ont aidé la transition intelligente au sein des systèmes électriques isolés. Les outils de modélisation récents comme HOMER et DER-CAM sont utiles et se penchent sur les éléments du système électrique spécifique à faibles émissions de carbone, ainsi que sur les problèmes d'optimisation. Cette approche est similaire aux outils conventionnels de modélisation TIMES MARKAL, WaSP et LEAP qui ont longtemps assisté la planification des systèmes électriques traditionnels. HOMER permet aux utilisateurs d'évaluer la faisabilité économique et



technique d'un grand nombre d'options technologiques, et d'expliquer les variations des coûts de la technologie et de la disponibilité des ressources énergétiques des micro-réseaux d'énergie hybride renouvelable et des systèmes insulaires isolés. DER-CAM est un outil de modélisation économique et environnementale pour l'adoption d'une distribution aux consommateurs des ressources énergétiques. En plus, des outils comme PLEXOS ou l'initiative de transition énergétique Islands Playbook ont été adoptés pour faciliter la sélection des éléments clés nécessaires à la conception d'un processus complet de transition énergétique.

En général, il existe quatre catégories principales de modèles de planification pour les problèmes de développement et d'utilisation des systèmes électriques futurs et modernes (Owlia and Dastkhan, 2012). Celles-ci sont :

- i. Les modèles économétriques tels que la programmation linéaire ;
- ii. Les modèles d'équilibre énergétique tels que les algorithmes génétiques ;
- iii. Les modèles d'optimisation utilisant des techniques de modélisation mathématique telles que la programmation mixte en nombres entiers ; et
- iv. Les modèles de simulation tels que la modélisation en mode agent.

Ces outils ont prouvé leur utilité pour la conception des différents éléments des systèmes électriques et aident à comprendre les étapes nécessaires de transition et de planification du système. Les différents aspects comprennent les investissements de développement de capacité et l'amélioration des prises de décisions concernant le système, comme l'équilibrage de réseau ou les analyses de politique énergétique (Dyner, 1996; Lalor, 2005; Dimitrovski, Ford et Tomsovic, 2007; Ilic, Xie et Liu, 2013). De plus, les outils de modélisation ont été très largement utilisés pour la transition énergétique des systèmes insulaires isolés. Par exemple, Weisser (2004) a examiné les principaux obstacles économiques et technologiques à l'intégration des énergies renouvelables à l'intérieur des petits systèmes des territoires insulaires, alors que Parness (2011), Pina, Silva et Ferrão (2012) et Ilic, Xie et Liu (2013) ont étudié des systèmes de bancs d'essai pour l'équilibrage du réseau électrique et l'optimisation de l'engagement d'unité pour les systèmes de réseau isolés. D'autres initiatives pratiques, comme la tenue d'une feuille de route sur l'énergie à l'échelle nationale, déjà réalisée par IRENA en 2017, permettent de tirer des connaissances des réalisations existantes.

### 2.3 Étude des réalisations existantes

Il existe de nombreuses réalisations qui sont l'illustration des différentes voies possibles en matière de transition et donnent un éclairage sur l'étude des solutions énergétiques intelligentes sur les territoires insulaires. Les systèmes à faibles émissions de carbone continuent à évoluer, et, à côté de cela, une littérature naissante réfléchit à une politique et à une régulation efficaces, à des approches financières et à un engagement total des parties prenantes ; ceci comprend une augmentation des approches intelligentes des infrastructures énergétiques des îles (SmileGov, 2009; IEA, 2012; Ilic, Xie et Liu, 2013; Vallvé, 2013; IRENA, 2014a; Sawin, Seyboth et Sverrisson, 2016; Eurelectric, 2017). IRENA (2014) détaille plus de vingt-cinq projets à faibles émissions de carbone. Ils concernent les îles et les territoires du Pacifique, mais aussi de l'océan Indien, de la Méditerranée et des Caraïbes. Ces projets illustrent de nombreux aspects de la transition énergétique intelligente et incluent des projets de parcs éoliens, de centrales solaires, et l'utilisation de l'efficacité énergétique et des EV pour améliorer la sécurité énergétique du système et réduire la dépendance aux combustibles fossiles. Selon l'Islands



Energy Program (2016), les projets de ce type vont constituer un plan directeur pouvant être reproduit chez d'autres économies isolées, et éventuellement sur d'autres systèmes, plus vastes. De plus, le développement des études de micro réseaux comme l'île de Jeju, la Corée du sud, et Hachinohe, au Japon, est noté. Ces projets de démonstration de micro réseaux sont des exemples d'expérimentation récente de systèmes électriques à faibles émissions de carbone entrant dans le cadre d'une transition intelligente.

La politique de faible teneur en carbone et les projets de réseaux intelligents sont en augmentation dans toute l'Europe continentale et sur les territoires insulaires isolés du continent (IEA, 2013; Sawin, Seyboth et Sverrisson, 2016; Eurelectric, 2017). Selon Vallvé (2013), les îles isolées ou les zones reculées représentent un terrain d'essai parfait pour les technologies matures à faible teneur en carbone, car leur génération indigène à faible teneur en carbone peut être plus rentable sur le long terme, et ces technologies potentielles peuvent aussi se compléter et correspondre de différentes manières à la demande en électricité. Cela signifie également que ces systèmes sont au premier plan des transitions énergétiques intelligentes, avec l'utilisation innovante des techniques de stockage et de gestion de charge (Vallvé, 2013). La section suivante apporte donc une vue d'ensemble de plusieurs projets de transition énergétique intelligente en cours partout dans le monde.



### 3. Transitions énergétiques intelligentes déjà en cours sur les îles

Cette section récapitule l'expérience acquise jusque là en matière de transitions énergétiques intelligentes sur les îles. L'éventail des transitions énergétiques intelligentes examinées dans cette section illustre la diversité des contextes insulaires. La vue d'ensemble présentée ici donne un aperçu de l'étendue de la transition énergétique intelligente entreprise dans chacune des études de cas. Le principal caractère distinctif de ces exemples par rapport à des systèmes interconnectés est le fait qu'ils soient tous isolés en termes d'infrastructures électriques (non raccordés à une infrastructure électrique centrale), et pas nécessairement le fait de leur isolation économique ou géographique. Cela signifie que ces systèmes ont tendance à dépendre du diesel, et que les économies locales en matière d'énergie sont particulièrement influencées par les incertitudes du marché mondial du pétrole. Généralement, les systèmes insulaires et périphériques sont dépendants, soit de l'importation de combustibles fossiles, soit d'interconnexions électriques passant par des câbles sous-marins. Cela fait d'eux un bon sujet d'étude pour des modes de génération électrique alternatifs. La vue d'ensemble des cas étudiés qui est présentée correspond à une liste non exhaustive des systèmes et projets de transition énergétique intelligents des territoires isolés à l'intérieur de deux catégories : l'Europe (section 3.1), et le reste du monde (section 3.2). La répartition dans le monde de ces projets et études de cas est représentée sur la figure ci-dessous (3.1).

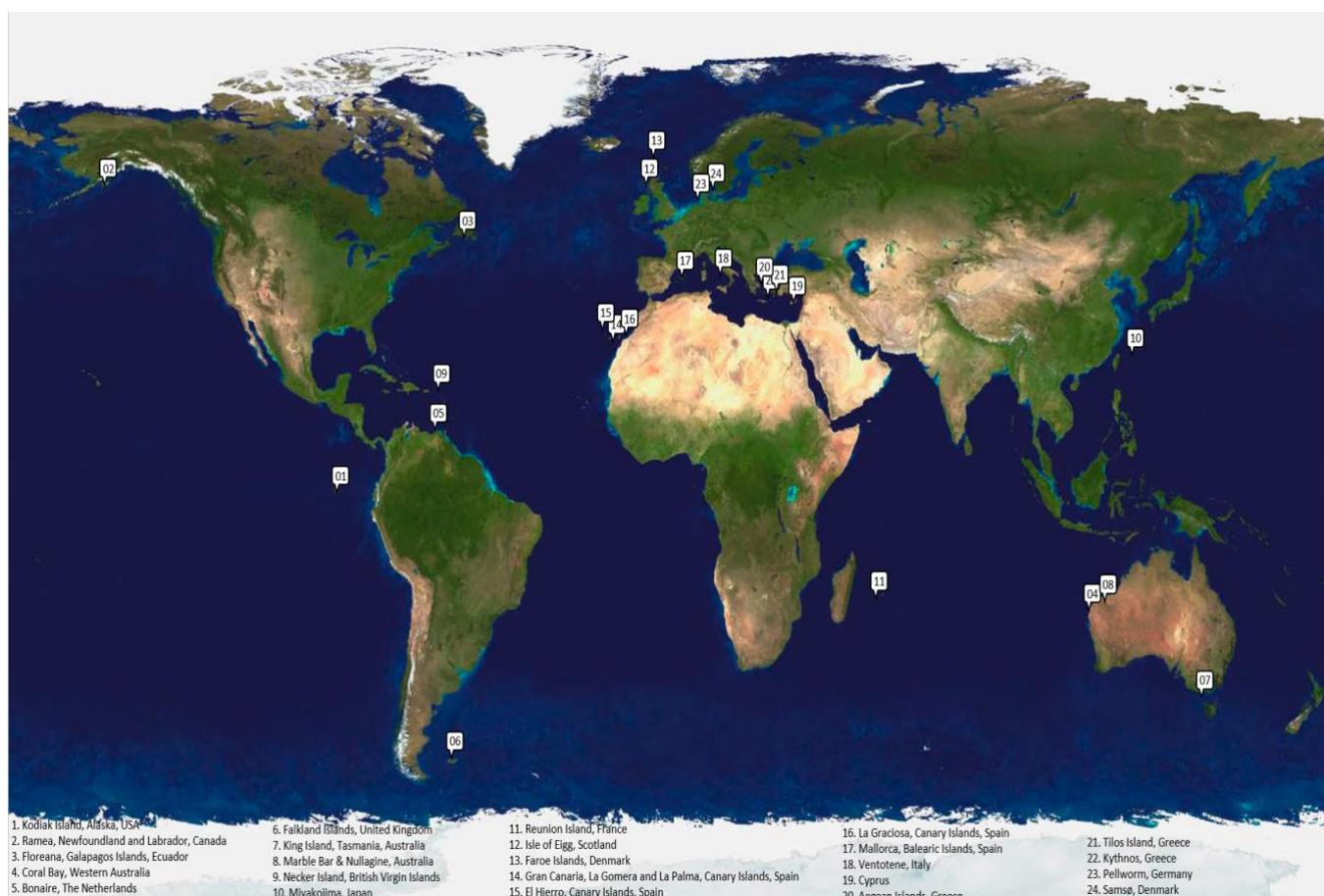


Figure 3.1 Localisation géographique des études de cas



## 3.1 Les îles européennes

L'Union Européenne se positionne comme un leader dans la transformation de ses systèmes énergétiques (Commission européenne, 2015), ce qui se reflète au niveau des activités « intelligentes » sur les îles européennes.

### 3.1.1 Eigg, Écosse

Cette île, d'une population de cent personnes, a bénéficié d'un réseau connecté basé principalement sur l'énergie renouvelable, au lieu des générateurs diesel déjà existants et opérant de manière individuelle. L'idée première était de chercher une source de génération d'énergie plus durable, plutôt que de compter sur un réseau de combustibles fossiles. Une initiative de la collectivité a alors visé à exploiter les abondantes ressources énergétiques locales renouvelables. Cela a conduit à un système de génération électrique utilisant le vent, le soleil, l'eau, et le diesel, plutôt qu'un raccordement de l'île au réseau continental de l'Écosse, dont le coût s'est avéré prohibitif. Aucune connexion électrique de câbles sous-marins n'a existé, ni avant, ni pendant la transition. Il y a un système d'usage prépayé, plafonné à 5 KW de puissance de pic de demande instantanée pour les petites entreprises et les résidents, et à 10 KW pour les grandes entreprises. Habituellement, les résidents ne dépassent pas leur limite hebdomadaire prépayée, et par conséquent, ce système prévoit d'autres réductions de coûts étant donné qu'il n'y a pas besoin d'accélérer et de ralentir excessivement et continuellement les générateurs d'électricité. La capacité de génération totale du système entier est d'approximativement 184 KW (Bunker *et al.*, 2015; Green Eigg, 2010).

### 3.1.2 Îles Féroé, Danemark

Les îles Féroé, avec une population excédant de peu les 49 000 habitants, a pour objectif de transition énergétique de remplacer la production électrique basée sur l'énergie fossile par des sources renouvelables. Les îles Féroé sont électriquement isolées du Danemark continental. Les combustibles fossiles répondent à 95% de la demande en électricité, contre seulement 4% pour les énergies renouvelables, en 2009. La stratégie des îles Féroé implique le développement d'un programme diversifié de projets et d'initiatives cherchant à faire croître l'usage de l'énergie éolienne, solaire, et hydraulique. L'objectif ambitieux d'atteindre d'ici 2030 une production électrique générée à 100% par le renouvelable et avec une teneur en carbone nulle est fixé, en même temps que l'électrification des secteurs du transport et du chauffage. Depuis 2015, la part annuelle de l'énergie éolienne est de plus de 18%, avec des niveaux de pénétration du vent instantanés dépassant 80% de la charge totale, de 4 MW jusqu'à plus de 18 MW. Un projet financé par l'Union européenne, TWENTIES PowerHub, s'est montré essentiel pour cet aspect de la transition pour lequel les consommateurs industriels ont été intégrés à un système de délestage de charges, pour découpler les charges comme les pompes à chaleur, les chambres froides et les compresseurs de congélation lorsqu'une déviation de la fréquence locale survient. Le projet a été testé. De plus, un système d'accumulateur a été intégré au parc éolien. D'autres initiatives de transition énergétique intelligente ont vu la compagnie électrique locale et les autorités locales travailler ensemble sur différentes incitations afin de rendre les véhicules électriques et les pompes à chaleur plus attrayantes aux yeux des habitants. Une infrastructure à chargement rapide pour EV (basée sur l'excédent d'énergie renouvelable pendant la nuit) a été mise en place avec des chargeurs publics placés de façon stratégique sur toute l'étendue de l'île (BusinessGreen, 2012; IEA, 2012; Eurelectric, 2017).



### 3.1.3 Grande Canarie, La Gomera et La Palma, Îles Canaries, Espagne

Ces trois îles de l'archipel des Canaries ont été utilisées comme études de cas pour un seul projet européen « stoRE », afin de montrer différentes technologies de stockage d'énergie. Ces îles, comme la plupart de celles présentées dans ce rapport, sont toutes isolées les unes des autres, ainsi que du continent, électriquement parlant. Le projet décrit ici vise à montrer la faisabilité économique et technique des différents niveaux des systèmes de stockage d'énergie. L'étude de cas montre l'intégration et a permis de transmettre une meilleure connaissance des technologies sur ces réseaux électriques de ces îles en situation réelle. L'accumulateur de stockage électrochimique Li-ion est utilisée à Grande Canarie, de paire avec les sources énergétiques locales pour tester la puissance active. Elle fournit de l'inertie et participe à la régulation secondaire. Le volant d'inertie est utilisé sur La Gomera pour fournir de l'inertie, de la puissance active pour la régulation de puissance, et la stabilisation de la fréquence du réseau électrique insulaire basé sur le renouvelable. La Palma a bénéficié de l'installation de supercondensateurs afin d'améliorer les réponses au sein des régulations primaires et la stabilité de la fréquence du réseau, apportant ainsi au système isolé davantage de stabilité et une meilleure qualité d'approvisionnement (stoRE, 2011; Eurelectric, 2017).

### 3.1.4 El Hierro, Îles Canaries, Espagne

La plus petite des îles de l'archipel des Canaries, sous l'impulsion de sa population de 11 000 habitants, a opéré la transition énergétique dans le but de rendre son système énergétique auto-suffisant. Cette île est elle aussi isolée électriquement. Une unité de pompage-turbinage hydroélectrique et un système hybride éolien et diesel alimentent l'île en électricité à partir de sources énergétiques 100% renouvelables. Les pompes hydrauliques et hydroélectriques éoliennes du système transforment le vent intermittent en un approvisionnement en électricité constant et contrôlé, maximisant ainsi l'utilisation de ces sources énergétiques pour une intégration aisée dans le système. Cette initiative fait partie d'un programme plus large financé par des fonds publics et privés pour le développement durable, à l'intérieur duquel des mesures pour l'accroissement de l'efficacité énergétique sont explorées, comme le passage des véhicules à essence aux véhicules électriques. Le gouvernement local subventionne l'achat de véhicules électriques, tandis que l'opérateur électrique local étudie le développement et la mise en œuvre de stations de rechargement pour véhicules électriques. La capacité de production installée sur El Hierro en 2015 était de 35 MW, parmi lesquels 12,7 MW étaient issus de l'énergie fossile (Bunker *et al.*, 2015; Eurelectric, 2017).

### 3.1.5 La Graciosa, Îles Canaries, Espagne

Le gouvernement local de la Graciosa (700 habitants) a l'objectif de développer une solution d'approvisionnement en énergie renouvelable, et de devenir autonome en termes de stabilité et d'efficacité énergétique. Les principales initiatives du projet de la Graciosa, commencé en 2015 pour faciliter la transition énergétique sur l'île, a bénéficié de fonds européens et d'une aide financière du gouvernement espagnol. Les objectifs clés du programme des énergies renouvelables reposent sur le contrôle de la production distribuée pour transformer le réseau en un réseau intelligent. Les autres aspects incluent le développement d'un système hybride innovant pour un stockage multiservices. Cela est utile pour gérer la demande globale avec un contrôle interactif autonome pour le client ou l'utilisateur. L'île de Graciosa possède des interconnexions matérialisées par des câbles électriques sous-marins reliés à l'île la plus proche, Lanzarote, pour l'importation de l'électricité nécessaire. Lanzarote est légèrement plus grande et est électriquement isolée des autres îles et de l'Espagne continentale (La Graciosa Project, 2015; Eurelectric, 2017).



### 3.1.6 Majorque, Baléares, Espagne

Majorque, d'une population de plus de 850 000 habitants, n'utilise que très peu l'énergie renouvelable. Majorque possède une interconnexion sous-marine mise en service en 2012 par le biais d'un projet appelé « The Romulo », entre l'Espagne continentale, Majorque, puis Ibiza par la suite. De récents fonds européens et espagnols ont marqué le début d'un changement : la diminution progressive de sa dépendance aux combustibles fossiles. Un projet de transition énergétique existant appelé « ecaR Project », centré sur l'électrification du secteur des transports, a déjà commencé à voir le jour. Il a pour objectif de créer six points de chargement rapide, placés de façon stratégique, de manière à réaliser le premier réseau de chargement des véhicules électriques sur l'île. L'utilisation se fait à partir d'une application de smartphone qui permet aux utilisateurs de localiser rapidement les points de chargement et d'avoir accès à toutes les informations utiles (localisation des points les plus proches, réservations, itinéraires pour rejoindre les points, estimation du temps de trajet) pour charger leurs véhicules électriques (Eurelectric, 2017; REE, 2018).

### 3.1.7 Ventotene, Italie

Cette île se situe sur la mer tyrrhénienne, au large de Naples. Sa population permanente est d'environ 780 habitants. L'île peine à faire face à l'afflux important de touristes chaque année. D'importantes variations saisonnières sont ainsi enregistrées concernant la demande en électricité. Ventotene ne possède pas d'interconnexion sous-marine avec le réseau continental, et dépend uniquement de quatre générateurs diesel, chacun d'une capacité nominale de 480 KW. Le changement opéré par l'île vers le renouvelable et vers une transition énergétique intelligente se note à travers un déploiement croissant de panneaux photovoltaïques sur les toits. L'opérateur électrique a installé un système de stockage en accumulateurs lithium-ion d'une puissance de 300 KW/600 KW afin d'intégrer la production électrique solaire sur l'île. Les fonds pour ce projet sont issus de la banque Européenne d'Investissement. Ce projet de transition énergétique représente une meilleure pratique dans la manière avec laquelle le système de stockage avec dynamique rapide de stockage (les dynamiques de réseau sont prises en charge par les accumulateurs) est couplé aux générateurs diesel. L'île a également des travaux préparatoires pour les futures applications intelligentes, comme par exemple les stations de chargement des véhicules électriques (Eurelectric, 2017).

### 3.1.8 Chypre

Chypre est l'une des plus grandes îles d'Europe engagées dans une transition énergétique intelligente en termes de population, à plus d'1,1 million d'habitants. En tant qu'Etat-membre de l'Union Européenne, l'île a un objectif national à atteindre concernant le déploiement du renouvelable. La consommation d'énergie renouvelable doit être de 13%. La pénétration actuelle du renouvelable sur l'île est d'environ 8,5%, ce qui inclut l'énergie éolienne, la biomasse, et les installations solaires résidentielles et à grande échelle, avec une feuille de route nationale à tenir pour parvenir à une pénétration plus importante. Pour contribuer davantage au développement et maximiser la pénétration du renouvelable, l'opérateur électrique local s'est engagé dans deux projets de développement et de recherche financés par l'Europe : Green+ et SmartPV. Le premier de ces projets vise à gérer et à optimiser la production renouvelable distribuée du réseau basse tension (20 MW) et du réseau moyenne tension (50 MW) de l'installation solaire. L'autre projet porte sur le mesurage net intelligent pour la promotion et la l'intégration rentable au réseau solaire. De plus, l'île possède un service de chargement pour les véhicules électriques, offert et financé par l'opérateur électrique local



en tant que projet pilote appelé « E-Charge ». L'impact du chargement électrique des véhicules sur le système de distribution est observé, et cela aide à la promotion de l'électrification du secteur des transports sur l'île. Parmi les autres projets innovants dans le renouvelable, financés par la commission européenne, par la Banque Européenne d'Investissements et par d'autres Etats-membres, on peut citer l'Helios Power Project et l'EOS Green Energy Project. Actuellement, l'île de Chypre ne possède pas de câbles sous-marins la reliant au continent, mais elle a signé un accord en 2016 pour une éventuelle interconnexion avec l'Égypte (CyprusProfile, 2017; Eurelectric, 2017; SmartPV, 2017).

### 3.1.9 Îles Égéennes, Grèce

Les îles grecques de Kythnos, Milos, Santorin, Lesbos, et Lemnos sont le sujet de cette étude de cas. Ces îles, avec une population combinée de 150 000 habitants, sont électriquement isolées les unes des autres, ainsi que du continent. Leur transition énergétique intelligente comporte la promotion des réseaux intelligents sur ces îles afin d'améliorer la qualité de l'électricité fournie, d'accélérer la pénétration du renouvelable et de permettre une gestion plus flexible de la demande. Les îles font partie du DAFNI, le réseau des îles égéennes durables, qui fournit une assistance technique et une expertise en apprentissage collaboratif pour les transitions des îles dans la région. La Banque Européenne d'Investissement a financé le projet pour un coût de plus de 52 millions d'euros. Cette étude de cas de transition énergétique a impliqué un large éventail de technologies intelligentes : systèmes de gestion de l'énergie, systèmes de gestion du marché, infrastructure de mesure automatisée, communication avec les stations de chargement pour les véhicules électriques pour la gestion des charges EV, efficacité énergétique de l'éclairage urbain avec des moyens de mesure intelligents permettant de régler la lumière à distance. D'autres aspects poursuivis pour la maximisation de la pénétration du renouvelable dans les systèmes électriques de ces îles sont des interventions dans le paysage réglementaire et légal nécessaires pour pouvoir faire avancer les appels d'offres et les investissements sur l'ensemble des îles (SmileGov, 2009; Eurelectric, 2017).

### 3.1.10 Tilos, Grèce

Tilos a une population permanente de 500 habitants, et subvient à ses besoins en électricité par le biais d'une interconnexion électrique sous-marine peu fiable avec une autre île, Kos, qui exploite une centrale de production de gazole. Cette île, cependant, subit des pannes d'électricité récurrentes de longue durée à cause de défaillances au niveau des câbles sous-marins. La transition énergétique au sein de l'île est poursuivie dans le cadre du projet TILOS, qui vise à faciliter un accroissement des sources d'énergies renouvelables par l'exploitation optimale des actifs de stockage d'énergie via un prototype d'accumulateur basé sur les accumulateurs FIAMM NaNiCl<sub>2</sub>. Celui-ci est fourni avec un système de contrôle du réseau intelligent optimal qui assure de multiples tâches : gestion de l'énergie, maximisation de la pénétration du renouvelable, stabilisation du réseau, prestation de services auxiliaires au réseau principal de l'île de Kos. L'aspect unique de cette transition est que l'île plus petite est raccordée à l'île plus grande à l'endroit où le système d'accumulateurs va devoir prendre en charge, non seulement les opérations autonomes, mais aussi celles du réseau connecté. Différentes stratégies de fonctionnement sont testées afin de définir l'intégration au système la plus optimale. Ce qui est également inclus dans l'approche de la transition énergétique intelligente, c'est la création de nouveaux modèles économiques pour la commercialisation de la solution d'accumulateurs intégrée, qui impliquera également le public local (Eurelectric, 2017; TILOS, 2017).



### 3.1.11 Kythnos, Grèce

Kythnos est une île grecque dont la population s'élève à 1632 habitants. L'île a déjà derrière elle une longue expérience des applications d'énergie durable remontant à 1982, lorsque le premier parc éolien d'Europe voit le jour. L'île possède tout un éventail de technologies dans le cadre de l'énergie renouvelable, comme une centrale photovoltaïque couplée à des accumulateurs et une éolienne hybride, un stockage en batterie, et un système de contrôle automatique qui sont obsolètes. Les seuls systèmes de production qui fonctionnent encore parmi ces premiers projets sont de petites installations solaires autonomes. La capacité actuelle de génération installée au sein de l'île est de 4,97 MW, avec un pic de consommation de 2,7 MW. Le but de l'île en termes de transition énergétique est d'aller vers un développement durable et intelligent afin d'inclure les effets du tourisme sur la demande saisonnière en électricité. Un des projets favorisant la transition énergétique sur l'île est un site de démonstration. Il s'agit d'un projet appelé « Wise GRID » et qui a pour objectif de développer de nouvelles technologies innovantes et intelligentes qui contribueront à rendre le réseau électrique plus sécurisé, plus efficace, et plus autonome. Un système intégré de gestion fera l'objet d'une démonstration, combinant véhicules électriques, réponse à la demande (bâtiments publics), infrastructures critiques (port, unité de dessalement), et gestion du réseau pour un fonctionnement plus efficace et économique du système, devant toujours être centré sur le client (Eurelectric, 2017; WISEGRID, 2018).

### 3.1.12 Pellworm, Allemagne

Pellworm est située au nord de l'Allemagne continentale. Cette île d'environ 1200 habitants est l'une des pionnières dans l'exploitation de l'énergie renouvelable, depuis le début des années 1980. L'île n'est pas isolée électriquement, et un câble sous-marin la relie au réseau électrique de l'Allemagne continentale. Il a été démontré que c'est le vent qui présente le plus gros potentiel sur l'île, avec plus de 6 MW de capacité installée. Une large palette de sources en énergies renouvelables pour la transition énergétique est observée sur l'île, avec notamment l'utilisation de la biomasse, des PV, des pompes à chaleur, du solaire thermique, du biogaz, et une efficacité énergétique croissante. Les PV et les systèmes d'énergie éolienne-hybride existent en vue d'avoir des batteries de stockage d'énergie pour les excédents d'énergie solaire et éolienne. L'île produit environ trois fois la quantité d'électricité réellement nécessaire en moyenne, et redistribue ce dont elle n'a pas besoin au continent (ISRR, 2009a).

### 3.1.13 Samsø, Danemark

Samsø est une île danoise d'environ 4300 habitants. L'île a été choisie pour devenir un modèle de communauté fonctionnant aux énergies renouvelables dans le cadre du Plan d'Action Danois, Energy 21 (Agence danoise de l'Énergie, 1996). Samsø est passée d'une dépendance totale aux combustibles fossiles en 1997 à une auto-suffisance réussie grâce aux énergies renouvelables dès 2003. Le projet ALTENER financé par l'Union européenne a contribué à accélérer le processus de transition initial en fournissant des subventions. L'île n'est plus isolée électriquement depuis que quelques parcs éoliens de l'île ont été reliés au réseau national du continent, ce qui donne la possibilité à l'île comme au continent d'exporter et d'importer de l'énergie depuis le réseau. Par conséquent, l'île se veut symboliquement utilisatrice à 100% des énergies renouvelables, sans pour autant utiliser le renouvelable tout le temps. 21 éoliennes fonctionnent sur l'île et autour, au large du littoral mais aussi à terre, avec une capacité installée de plus de 23 MW. Il existe également quatre centrales thermiques



sur l'île qui sont approvisionnées à partir de panneaux solaires, de chaudières à bois, et de chaudières à paille. Samsø accorde également une grande importance au renforcement des capacités de la communauté et comporte une Académie Énergétique qui réalise des recherches et conseille la collectivité sur tout ce qui concerne le thème de l'énergie renouvelable (ISRR, 2009b).

## 3.2 Reste du monde

Les exemples restants de cette étude sont des îles situées en dehors de l'Europe.

### 3.2.1 Île Kodiak, Alaska, États-Unis

Une étude de cas qui s'est concentrée sur la mise en œuvre réussie de l'énergie renouvelable. Cela inclut un système de production hybride éolien et diesel achevé en 2009, avec un barrage hydroélectrique existant. Un accumulateur au plomb de 3 MW (2 MWh) contribue à la stabilité du système, et les opérateurs ont récemment ajouté deux volants d'inertie de 1 MW pour renforcer la stabilité du système. Le but premier de cette transition de système insulaire est de réduire la production au diesel et d'arriver à une génération renouvelable à 100% ; celle-ci était aux environs de 98% en 2012. L'île compte 13 000 habitants et a une capacité de production d'électricité installée de 75 MW. (IEA, 2012; Bunker *et al.*, 2015).

### 3.2.2 Ramea, Terre-Neuve-et-Labrador, Canada

Ramea compte 526 habitants et est isolée électriquement du réseau nord-américain. L'île a servi de cas d'étude pour un système hybride innovant qui utilise l'éolien et le stockage d'hydrogène en combinaison avec des générateurs diesel (trois unités diesel différentes) pour répondre à la demande en électricité. Cela a donné plus de 700 KW d'énergie éolienne et 250 KW de stockage d'hydrogène. La démonstration de transition énergétique se concentrait sur la réduction de la production à partir de combustibles fossiles tout en augmentant la part des énergies renouvelables dans le système. Un immense effort collaboratif de sources de financement locales et privées ont rendu possible ce processus de transition énergétique. (Vallvé, 2013; NRC, 2015).

### 3.2.3 Floreana, îles Galapagos, Équateur

Cette île est la plus petite de tout l'archipel des Galapagos, avec une population de 200 habitants. Elle ne possède pas d'interconnexion électrique sous-marine avec les îles voisines ou avec le continent. La transition énergétique est centrée sur la réduction de la quantité d'énergie utilisée et de la production au diesel. Un grand pas en avant vers le renouvelable a été franchi avec la mise en œuvre d'un projet hybride solaire et diesel. Le projet comprenait un réseau solaire multi-usage pour les besoins de la collectivité, ainsi que cinq installations solaires autonomes pour les exploitations agricoles situées à l'extérieur du village principal. L'efficacité énergétique a été encouragée par l'intermédiaire de réductions sur l'installation d'appareils basse consommation. Cette transition vise à réduire la demande en électricité tout en augmentant le nombre d'installations d'énergie renouvelable installées. (IEA, 2012).

### 3.2.4 Coral Bay, Australie occidentale

Ce cas d'étude représente une très petite population résidente de 140 habitants, mais avec une visite quotidienne d'environ 3600 touristes. La capacité de production installée de l'île est de 2,92 MW avec un pic de demande de 0,6 MW, et aucune connexion électrique sous-marine n'existe. La transition énergétique a débuté en 2007 et vise principalement à accroître la part des énergies renouvelables dans le



système. Un système hybride éolien et diesel est utilisé pour répondre à la demande en électricité. Pour aider à équilibrer les générateurs diesel à faible charge à ressources éoliennes intermittentes et un volant d'inertie de 500 KW utilisé pour ce système. Cela permet aux éoliennes de contribuer en moyenne à 40-60% de la demande d'électricité, avec des pointes jusqu'à 90%. Cette transition comporte également une résilience intégrée avec des « éoliennes à l'épreuve des ouragans » qui peuvent être remises (inclinées et abaissées au sol) en cas de conditions météorologiques dangereuses. (IEA, 2012; Bunker *et al.*, 2015).

### 3.2.5 Bonaire, Pays-Bas

Les circonstances ont joué un rôle important dans la transition énergétique de ce système insulaire de 16 541 habitants. Après l'incendie de 2004 qui a détruit la seule centrale électrique de l'île, des moyens de production d'électricité plus durables ont été recherchés. Cela inclut une évolution vers un approvisionnement en électricité 100% renouvelable. Le nouveau système électrique est conçu autour des énergies renouvelables. Il s'agit d'un système hybride d'éoliennes, d'un accumulateur de 3 MW (100 KWh), et de 14 MW de diesel installé (principalement nécessaire pour l'équilibrage des fréquences du réseau). La capacité totale de production installée est de 25 MW. L'île est isolée électriquement, près de la moitié de son électricité annuelle provenant de l'énergie éolienne. (Bunker *et al.*, 2015).

### 3.2.6 Îles Malouines, Royaume-Uni

Les Malouines comptent 3 398 habitants et sont isolées électriquement de l'Amérique du Sud, le continent le plus proche. Ce système insulaire est doté d'un fort potentiel en ressources éoliennes. La stratégie de transition consiste à exploiter le vaste potentiel énergétique local et à remplacer la production actuelle au diesel. Des évaluations et des expériences avec le solaire et l'hydroélectricité ont été menées, mais les planificateurs ont continué à utiliser le vent comme principale source de production d'énergie renouvelable. De plus, le système comprend un petit volant d'inertie pour résoudre les problèmes de stabilité et accroître ainsi l'efficacité du système hybride éolien-diesel. La capacité installée actuelle de l'île est de 8,58 MW, dont 1,98 MW d'éolien. Les parcs éoliens ont réduit la consommation de diesel de 1,4 million de litres par an, ce qui a permis aux clients d'économiser sur leurs factures d'électricité. (IEA, 2012; Bunker *et al.*, 2015).

### 3.2.7 Île King, Tasmanie, Australie

Ce système insulaire de 1800 habitants a mis en place un projet d'intégration des énergies renouvelables en tant que programme d'orientation général pour sa transition du diesel au renouvelable. L'île est isolée électriquement avec une capacité de production totale installée de 8,84 MW. La production d'électricité de ce système comprend l'éolien, le diesel, le solaire et un stockage en accumulateur de 3 MW (1,5 MWh). En outre, deux volants d'inertie de 1 MW sont utilisés avec une résistance dynamique pour permettre au système de fonctionner sans générateurs diesel pendant une période prolongée de la journée à plusieurs occasions. Cela s'est produit la première fois en 2013. Des compteurs intelligents ont été déployés pour surveiller la production des panneaux solaires et enregistrer la consommation énergétique en temps réel des clients. Cette transition énergétique a permis de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du système tout en améliorant la fiabilité et la qualité de l'alimentation globale du réseau électrique de l'île. (Hydro Tasmania, 2014; Bunker *et al.*, 2015).



### 3.2.8 Marble Bar et Nullagine, Australie

Cette étude de cas représente deux communautés à micro-réseaux dans lesquelles la transition énergétique a été motivée par la nécessité de montrer l'incorporation de ressources renouvelables comme test pour l'opérateur électrique local afin de montrer ce qui est possible. Les communautés ont une population de 600 personnes. Un système hybride de générateurs solaires photovoltaïques, de générateurs diesel et d'une installation à volant d'inertie cinétique permet au micro-réseau de fonctionner sur des pénétrations très élevées des ressources solaires disponibles. La capacité de production installée est de 2,75 MW avec une génération PV de 508 KW. Des audits d'efficacité énergétique ont également été réalisés pour les résidents au fur et à mesure que les systèmes solaires étaient déployés dans les différentes communautés. (Bunker *et al.*, 2015).

### 3.2.9 Necker Island, îles Vierges britanniques

Cette île privée de 60 habitants est utilisée comme banc d'essai pour une transition énergétique. Le système combine la production d'énergie solaire, éolienne et diesel (capacité de production totale de 2,16 MW) et bénéficie de l'équipement des bâtiments existants avec des unités de climatisation de plus en plus efficaces et de l'amélioration de l'isolation de nombreux bâtiments tout en ajoutant des commandes intelligentes. Pour cette étude de cas sur la transition énergétique, une approche de mise en œuvre systématique est utilisée pour les différentes ressources renouvelables, le stockage de l'énergie et les contrôles. Ceci vise à faciliter l'évaluation et la validation de l'impact de chaque technologie avant de passer à la phase suivante de la transition. (Bunker *et al.*, 2015).

### 3.2.10 Miyakojima, Japon

Miyakojima compte 54 908 habitants et se situe dans la mer des Philippines, au large des côtes japonaises. C'est la plus grande des îles Miyako. Elle est isolée électriquement, et la transition énergétique s'est concentrée sur l'élargissement de l'utilisation des sources d'énergie renouvelables au début des années 90. Les systèmes photovoltaïques sont largement répandus, et il existe plusieurs éoliennes (1800 KW). En outre, des efforts sont déployés pour accroître l'utilisation de l'éthanol afin d'alimenter une partie de la flotte de transport. L'île a également commencé à utiliser de grands accumulateurs sodium-soufre (NaS) (4 MW), ainsi que de plus petits accumulateurs lithium-ion (Li-ion) à l'échelle résidentielle pour améliorer la stabilité du réseau. Cette transition énergétique est pilotée par les opérateurs et vise à réduire les prix de l'électricité tout en contribuant à la réduction des émissions de carbone. (IEA, 2012).

### 3.2.11 La Réunion, France

La Réunion est située dans la partie sud de l'océan Indien et compte plus de 800 000 habitants. C'est un département d'outre-mer de la France. L'île est isolée électriquement et dispose de quelques turbines à gaz et de centrales à charbon, en plus des centrales diesel. Cette île est utilisée comme laboratoire d'essais pour un large éventail de projets de déploiement et de démonstration des énergies renouvelables, ainsi que pour l'utilisation à grande échelle de véhicules électriques. L'éventail des projets de transition comprend l'énergie océanique et houlomotrice, l'énergie solaire photovoltaïque, le stockage à l'échelle du réseau et l'hydroélectricité à petite et moyenne échelle. En outre, quelques projets, tels que PEGASE, ont été réalisés pour tester des moyens d'améliorer le système renouvelable existant. Celles-ci impliquent l'utilisation de technologies avancées de gestion de réseau et de charge, y compris le stockage en accumulateurs résidentiels. En outre, des



technologies sont utilisées pour effectuer des prévisions à un jour et intra-journalières pour deux parcs solaires afin de faciliter le lissage de l'énergie intermittente. Une gestion intelligente du stockage et de la génération d'énergies renouvelables intermittentes est réalisée. Ces projets récents ont grandement amélioré la transition énergétique intelligente de cette île, qui consiste notamment à atteindre l'objectif fixé par le gouvernement français de 50% d'énergies renouvelables pour les besoins électriques de l'île d'ici 2020, et 100% de la consommation totale d'énergie d'ici 2030. (Eurelectric, 2017).

### 3.3 Discussion sur des cas réels

Les enseignements tirés des études de cas présentées dans la section précédente peuvent être regroupés en quatre grandes catégories, comme on peut le voir dans la littérature sur la transition énergétique intelligente et proposés dans le projet ICE : technologique ; politique et développement durable ; finances et économie ; et engagement des parties prenantes.

#### 3.3.1 Technologique

Les caractéristiques technologiques spécifiques des transitions intelligentes en cours dans des territoires isolés tendent à être uniques à ces systèmes, mais l'étude des méthodes de sélection des bouquets technologiques, de leur processus de déploiement et de la façon dont ils répondent aux besoins énergétiques peut aider à mieux comprendre l'élaboration d'une stratégie efficace pour une transition énergétique intelligente. Certaines des principales différences techniques entre un système isolé / insulaire et un autre qui ne l'est pas sont la taille relativement petite du réseau électrique, la forme de la charge électrique due à la variabilité quotidienne et saisonnière de la demande, et les caractéristiques centralisées et fortement dépendantes du carburant diesel de l'électricité existante (IEA, 2012).

Comme cela a été observé dans les études de cas évoquées précédemment, des pénétrations élevées de l'électricité renouvelable sont considérées comme des objectifs réalisables, adoptés et poursuivis. Cependant, une faible pénétration des énergies renouvelables dans ces systèmes est généralement installée avant de tenter des niveaux de pénétration plus élevés. Les systèmes à petite échelle et à forte pénétration peuvent servir de pilotes pour les systèmes à grande pénétration et à grande échelle et pour tester la viabilité de ces technologies (AIE, 2012; Vallvé, 2013; ETI, 2017). Au début, la faible pénétration des énergies renouvelables dans les systèmes permet une conception et une exploitation simplifiées et, une fois éprouvée, peut servir de tremplin pour un déploiement ultérieur. Dans la plupart des cas, ces petits systèmes nécessitent peu ou pas d'équipement supplémentaire pour faciliter un système fiable. À mesure que le niveau de pénétration augmente, les problèmes d'équipement et de conception nécessaires au système de transition énergétique intelligent augmentent.

D'autres observations des systèmes d'étude de cas montrent que les différentes technologies des énergies renouvelables peuvent se compléter et être adaptées de diverses manières à la demande d'énergie à mesure que la transition énergétique intelligente est réalisée. Selon l'IEA (2012), les systèmes électriques hybrides peuvent également tirer parti des forces de différentes technologies pour fournir une production d'énergie à moindre coût. De plus, si l'objectif d'une pénétration à 100% des énergies renouvelables n'est pas techniquement ou économiquement réalisable, il serait



raisonnable d'utiliser des systèmes d'électricité hybrides pour maximiser la pénétration de l'énergie renouvelable. Cela donnera l'assurance que le niveau de pénétration des énergies renouvelables est conforme aux objectifs de la transition énergétique intelligente, à savoir l'utilisation des ressources énergétiques disponibles localement pour répondre aux préoccupations environnementales. Cela se produirait dans les limites techniques du système pour fournir une énergie fiable aux locaux.

Le stockage de l'énergie joue un rôle de plus en plus important dans ces systèmes d'énergie hybrides. Hirsch *et al.* (2015) prônent l'utilisation d'accumulateurs au plomb-acide - une technologie facilement disponible et mature qui est familière aux populations locales et qui peut faciliter la gestion des systèmes avec une forte pénétration de la production solaire et éolienne variable et non répartie. Selon les auteurs, une combinaison de sources d'énergie renouvelables, de stockage et de générateurs diesel soigneusement dimensionnés et intégrés peut fournir la solution la moins coûteuse pour la production d'électricité durable. Il a été constaté que les systèmes de stockage à petite échelle pour les installations d'une capacité allant jusqu'à 10 MW utilisent normalement des accumulateurs au plomb-acide comme technologie de stockage, bien que d'autres solutions de stockage soient de plus en plus commercialisées. De plus, le besoin d'un générateur diesel n'a été observé qu'avec les plus gros systèmes électriques nécessitant un équilibrage du réseau, dans lesquels l'utilisation d'un volant ou d'une autre solution à faible teneur en carbone n'était pas possible. L'hydroélectricité pompée existait dans quelques systèmes de transition, si cela était techniquement faisable et supportable économiquement selon les besoins de ces systèmes. Les systèmes isolés sont à la pointe de l'utilisation innovante du stockage dans la transition énergétique intelligente.

La production de diesel peut encore être nécessaire dans certains systèmes isolés au fur et à mesure de la transition énergétique. Dans de tels cas, il faudra améliorer les contrôles pour assurer la fiabilité et réduire l'accélération et la décélération excessives des générateurs diesel. En outre, la compréhension complète des facteurs de disponibilité et de capacité des énergies renouvelables installées doit être prise en compte pour une conception appropriée du système et l'intégration de ces énergies renouvelables dans le réseau existant. La fiabilité du réseau peut également être prise en charge avec la réponse côté demande et d'autres ressources de gestion de la demande au sein du système, telles que l'unité de dessalement du port de commerce de l'étude de cas de Kythnos. D'autres mécanismes standard tels que le délestage et la surveillance et le contrôle du système à distance peuvent fournir des informations essentielles pour gérer le système. Pour une intégration efficace des énergies renouvelables variables, il est impératif que les gestionnaires de réseau et les planificateurs appliquent les modèles de systèmes d'alimentation nécessaires, tels que les études de flux de charge, de stabilité, de court-circuit, de protection et de coordination (IEA, 2012).

L'exploitation et l'entretien du réseau électrique isolé constituent un domaine d'importance critique. Selon (Vallvé (2013), l'exploitation et la maintenance dans le temps des systèmes énergétiques basés sur les énergies renouvelables constituent un obstacle important au développement énergétique intelligent et durable dans les zones isolées. Il est à noter que les systèmes d'énergie renouvelable installés dans des zones isolées souffrent car ils n'ont pas été correctement entretenus, et en raison de la disponibilité des pièces de rechange et de techniciens / experts formés localement en cas de défaillance.



Les autres connaissances technologiques acquises pour la transition énergétique intelligente concernent les véhicules électriques et leur place dans le secteur des transports au sein de ces communautés isolées. Il est démontré dans quelques études de cas rapportées qu'un passage à des véhicules électriques pourrait soutenir l'intégration de réseaux électriques dans lesquels les véhicules électriques peuvent absorber la production d'énergie renouvelable excédentaire. Le potentiel supplémentaire de restitution d'électricité au réseau, bien qu'il soit souvent associé aux stratégies de transition proposées, n'a été observé dans aucun des projets de transition énergétique intelligente existants, car il n'est pas encore techniquement réalisable. Il a également été considéré que l'utilisation d'hydrogène dans laquelle l'énergie excédentaire provenant des sources renouvelables pourrait être stockée sous forme d'hydrogène et réutilisée pendant les périodes de non-production et / ou pour stabiliser le fonctionnement du réseau est une innovation technique utile de la transition vers l'énergie intelligente. Les progrès en matière de chauffage solaire thermique peuvent englober un large éventail d'applications, notamment le chauffage des locaux, le chauffage industriel et le refroidissement par absorption, mais jusqu'à présent, seul un chauffage de l'eau chaude domestique existe dans la plupart des îles. L'utilisation de pompes à chaleur a été principalement observée dans les îles isolées qui connaissent des hivers froids, comme en Europe du Nord.

Les principaux problèmes technologiques liés à la transition énergétique intelligente sont axés sur l'élaboration d'un plan d'intégration de l'infrastructure et la création d'une stratégie d'exploitation et de maintenance. La planification dans des systèmes électriques isolés doit souvent être plus spécifique, rigoureuse et transparente que la pratique actuelle dans des systèmes interconnectés plus vastes. Cela est dû au contexte spécifique et à la petite taille des systèmes, ce qui augmente la nécessité de faire correspondre les sources de production d'énergie à la demande et le besoin d'utiliser des ressources telles que le stockage, la réponse à la demande, les contrôles, les compteurs intelligents de manière intégrée et sophistiquée, à mesure que les niveaux de pénétration des énergies renouvelables augmentent (AIE, 2012). Les caractéristiques technologiques observées dans cette section fournissent des leçons utiles pour les transitions énergétiques intelligentes. Une sélection technologique appropriée est essentielle pour assurer la transition.

### 3.3.2 Politique de développement durable

La transition énergétique intelligente avec l'utilisation d'énergies renouvelables dans des zones isolées offre aux communautés périphériques et / ou aux systèmes distants une opportunité de faire preuve de leadership dans les technologies à faible intensité de carbone et l'intégration. Ce leadership est non seulement important pour la résilience des communautés locales, mais aussi pour développer une expertise mondiale dans les énergies renouvelables à forte pénétration et les systèmes énergétiques intelligents (AIE, 2012; Eurelectric, 2017). D'autre part, compte tenu de l'isolement géographique de ces systèmes de transition et de la petite taille des projets d'énergie intelligente, il peut être difficile pour les investisseurs et les développeurs de projets de promouvoir et de créer des programmes de renforcement des capacités et de formation de manière économique.

On observe qu'un cadre de durabilité, en tant qu'instrument politique, est nécessaire entre toutes les parties prenantes. Ce cadre est essentiel pour le gouvernement et les propriétaires de services publics et devrait être simple et ciblé sur les objectifs de la transition. Cela peut être réalisé avec un organisme de réglementation indépendant ayant une connaissance locale du système actuel et des stratégies nécessaires. Essentiellement, un éventail de politiques nationales propres à un système doit être



adapté pour promouvoir les sources d'énergie renouvelables, les véhicules électriques, le stockage de l'énergie, la gestion de la demande et le développement durable qui en résulte à travers la transition énergétique dans les régions isolées. De nouvelles institutions et de nouveaux environnements réglementaires seraient également nécessaires, comme le montrent certaines études de cas telles que les îles égéennes de la Grèce, qui étaient utiles pour attirer des investissements dans le réseau isolé. Des structures tarifaires alternatives spécifiques aux zones isolées peuvent également être développées (Vallvé, 2013).

Les énergies renouvelables jouent un rôle clé dans la transition énergétique intelligente et ont tendance à constituer un élément essentiel du portefeuille de développement durable du système, car elles permettent d'aboutir à des communautés plus « vertes », avec moins d'émissions de carbone. Une leçon importante à tirer des systèmes isolés est que les énergies renouvelables peuvent atteindre les objectifs environnementaux de ces zones reculées et montrent que ces zones plus petites et éloignées peuvent jouer un rôle dans l'atténuation du changement climatique. Cependant, bien que les technologies d'énergie renouvelable aient généralement un impact environnemental inférieur à celui de la production de source fossile, elles peuvent néanmoins avoir un impact négatif sur l'environnement local (Bickel *et al.*, 2003). Par conséquent, une étude environnementale spécifique à chaque site devrait être mise en place pour les systèmes en transition, étant entendu que différentes technologies renouvelables peuvent présenter des risques différents. Selon l'IEA (2012), la plupart des systèmes électriques isolés sont situés dans des environnements écologiquement sensibles et uniques nécessitant une attention particulière, comme la protection de la biodiversité.

Dans le cadre politique et les objectifs durables des systèmes isolés, la résilience du système doit être prise en compte. Des phénomènes météorologiques extrêmes doivent également être envisagés lors de l'installation de sources d'énergie renouvelables, telles que celles mises en place par les urbanistes de Coral Bay, en Australie occidentale, lors de l'installation d'éoliennes résistantes aux ouragans. En outre, de nombreuses préoccupations environnementales sont désormais mieux comprises grâce au travail des gouvernements et des militants et à l'élargissement de la littérature qui en résulte. Des exemples de cela incluent les éoliennes qui ne sont pas installées à proximité des lieux de nidification pour les populations d'oiseaux en voie de disparition, ou les projets de petites centrales hydroélectriques qui sont conçus de façon à ne pas affecter les écosystèmes aquatiques (IEA, 2012).

### 3.3.3 Financier et économique

Les transitions énergétiques intelligentes dans les systèmes insulaires isolés comportent un inconvénient inhérent qui s'applique dans un contexte financier et économique plus large et qui est conforme aux idées reçues dans le secteur de l'énergie. Cet inconvénient, observé dans la plupart des études de cas, est que les systèmes hybrides à énergie renouvelable plus petits et plus variables (moins transportables) sont économiquement moins attrayants que les systèmes à grande échelle. Il a toutefois été observé qu'avec des transitions énergétiques intelligentes dans des systèmes isolés, on peut considérer les coûts de production marginaux de la nouvelle génération de diesel par rapport au coût de production marginal des énergies renouvelables (Eurelectric, 2012). On peut également souligner que les énergies renouvelables et les solutions énergétiques intelligentes peuvent fournir des investissements différés dans les systèmes électriques, réduisant ainsi les impacts financiers et économiques plus larges (Pina, Silva et Ferrão, 2012; Eurelectric, 2017; Matthew, 2017). Ces investissements différés peuvent être réalisés grâce à l'utilisation d'énergies renouvelables ou



d'autres solutions intelligentes telles que les véhicules électriques pour la correspondance de charge pour abaisser les pics de demande / relever les creux de demande au sein du système. Il est toutefois important de noter qu'en termes de coûts d'investissement initiaux, l'utilisation d'énergies renouvelables est désavantageuse par rapport à la production de diesel conventionnelle, en particulier dans les systèmes isolés. À cet inconvénient s'ajoute le fait que la plupart des systèmes d'électricité isolés ne bénéficient pas d'une économie d'échelle susceptible de faciliter les marchés des services énergétiques et n'ont aucune réaction du marché aux technologies renouvelables atteignant la « parité réseau » (même si les systèmes interconnectés plus grands n'y sont pas non plus encore parvenus). Cependant, en raison du coût plus élevé du diesel importé pour les systèmes isolés, les énergies renouvelables peuvent se révéler à un coût unitaire comparatif pour la production de diesel à long terme.

Lorsque l'on considère les avantages de la transition vers un système énergétique intelligent, les investisseurs évaluent normalement le taux de rendement d'un investissement, tout comme lors de la planification de projets de transition énergétique intelligente. Il a été observé par Hirsch *et al.*, (2015) qu'il existe une approche d'investissement alternative potentielle pour des systèmes isolés particulièrement petits. Cette approche comprend une stratégie dans laquelle l'investisseur privé ne recherche pas un pourcentage élevé de rendement, tel que 12%, mais, au lieu de ça, l'opérateur électrique local doit remplacer de manière rentable le carburant diesel, pour qu'un retour sur investissement moindre puisse être convenu pour cet avantage supplémentaire. En d'autres termes, un modèle « étude de cas » peut nécessiter une combinaison différente d'investissements privés et publics, l'accent étant mis sur les économies de coûts résultant du remplacement du diesel par rapport au taux de rentabilité interne de l'investissement. Ainsi, dans le cas des îles Féroé, les projets éoliens sur l'île ont été en partie financés par l'émission d'actions pour permettre aux résidents locaux et à d'autres citoyens danois du continent d'investir directement dans le projet (AIE, 2012). Les résidents ont accepté un retour sur investissement moins élevé car ils savent que leurs investissements réduiront la dépendance de l'île vis-à-vis du diesel et augmenteront sa sécurité énergétique.

Les études de cas sur les transitions énergétiques intelligentes suggèrent que des projets pilotes et de démonstration sont souvent utilisés pour initier la transition, permettant l'application des budgets nationaux et internationaux de recherche et développement. Les fonds publics peuvent être utilisés pour mobiliser des fonds privés, ce qui est justifié par l'intérêt public à obtenir un approvisionnement en électricité fiable et économique et à lutter contre les émissions de carbone et autres. Lorsque les parties prenantes publiques assument les coûts initiaux, les parties prenantes du privé ont été en mesure de réaliser des investissements précieux dans les zones isolées (Eurelectric, 2017). La conception de mécanismes de coopération et d'instruments de financement innovants devrait faire partie intégrante du processus de transition intelligente. En outre, les organismes de financement extérieurs, tels que le mécanisme pour l'environnement mondial, pourraient jouer un rôle clé dans la fourniture d'un financement complémentaire aux systèmes les moins dotés sur le plan financier.

En outre, le risque de développement (adhésion de la communauté, obtention de permis, etc.) lié au financement de projets peut créer un obstacle important aux systèmes énergétiques intelligents dans les zones isolées. Les coûts associés ne se limitent pas seulement au coût réel du système, mais



s'étendent également à la logistique, aux autorisations et à d'autres difficultés spécifiques au système isolé pour l'installation de réseaux de recharge de véhicules électriques, de parcs éoliens, de systèmes solaires et de stockages d'énergie. Par conséquent, les coûts de financement totaux jouent un rôle essentiel dans la détermination de l'accessibilité financière initiale, de la compétitivité et des avantages du système en transition. Les exemples incluent l'agrégation des projets pour assurer les économies d'échelle et la réduction des coûts, et l'analyse comparative des coûts énergétiques en fonction des spécificités insulaires (Eurelectric, 2017).

Outre les caractéristiques de financement de la transition énergétique intelligente dans les systèmes isolés, il convient de tenir compte des avantages supplémentaires pour l'économie locale. Les solutions énergétiques intelligentes peuvent avoir un impact direct sur l'emploi dans les communautés locales pour la construction, la gestion des données et l'exploitation et la maintenance continues. Les installations renouvelables peuvent avoir des effets indirects en fournissant des revenus supplémentaires aux administrations locales via la taxe de vente, la taxe foncière, les droits d'importation et / ou l'impôt sur le revenu des installations énergétiques intelligentes, maintenant ainsi des recettes supplémentaires dans l'économie locale. Ce type d'activité peut également avoir des effets positifs sur l'acceptabilité locale des nouvelles technologies, et il existe des preuves considérables que la perception des avantages locaux peut améliorer la perception locale des énergies renouvelables. Les problèmes clés indiquent que la transition énergétique intelligente au sein des communautés isolées doit être considérée dans le contexte plus large du plan de système, et que les implications des difficultés et des avantages économiques doivent être pleinement prises en compte.

### 3.3.4 Engagement des parties prenantes

L'engagement des parties prenantes est désormais considéré comme un élément clé de la transition énergétique intelligente. Le processus de dialogue avec les parties prenantes n'est pas considéré comme très rigide, les promoteurs devant répondre aux divers besoins des différents groupes de parties prenantes, mais inclure au minimum la mise en place d'un cadre d'objectifs et de buts communs acceptables par tous les acteurs majeurs de la transition énergétique locale. Selon l'ETI (2017), parallèlement aux évaluations nécessaires de l'intégration du réseau électrique, les stratégies de développement durable propres à chaque site et à chaque communauté sont souvent essentielles au succès à long terme de la transition. Des stratégies d'engagement des parties prenantes ont été développées en tant qu'éléments clés de nombreuses études de cas. Celles-ci incluent l'évaluation des buts et objectifs globaux de la transition énergétique intelligente avec les structures de propriété possibles, l'identification d'un « défenseur du projet » pour faire le lien entre les promoteurs de projets et la communauté, et la création d'une entité commerciale viable pour assurer les opérations continues, la maintenance, le dépannage et la sensibilisation locale. Un large éventail de parties intéressées peuvent être impliquées en tant qu'organes distincts représentant les parties prenantes, allant des membres individuels de la communauté aux ONG locales, en passant par le gouvernement local, une coopérative commerciale et l'opérateur électrique local. Certains d'entre eux seront essentiels, tandis que d'autres seront uniquement souhaitables faciliteront la création de l'élan nécessaire pour assurer la transition.

Un aspect clé de l'engagement des parties prenantes qui se dégage de la littérature est que les décideurs politiques et les promoteurs doivent examiner attentivement la manière dont les



communautés locales recevront des systèmes énergétiques intelligents, et structurer l'engagement communautaire approprié et le renforcement des capacités en conséquence. On peut également souligner que des compétences locales doivent être développées et utilisées pour soutenir les nouveaux systèmes et opérations. Bon nombre des projets sont justifiés par le fait qu'ils remplacent la production au diesel coûteuse par un approvisionnement en électricité plus sûr et gratuit à long terme, fournissant ainsi une électricité à meilleur prix. Les études de cas de Kythnos et des îles de la mer Égée en Grèce, de l'île d'Eigg, en Écosse, et des îles Féroé, au Danemark, offrent une valeur communautaire avec le chargement des véhicules électriques et la participation au financement de certains projets. En outre, le secteur privé local devrait être impliqué pour soutenir le développement de systèmes énergétiques intelligents, en particulier dans les systèmes isolés. Le potentiel de développement de marchés pour les éco-touristes qui s'intéressent principalement aux questions de durabilité environnementale peut également constituer un moyen d'encourager les parties prenantes locales à adhérer et conduire à donner à l'île une image « verte » comme argument de vente pour soutenir le tourisme.

Outre les engagements individualisés des parties prenantes des études de cas, il a été observé que de nombreuses communautés insulaires s'unissent pour s'attaquer à la transition énergétique intelligente. SmileGov (2009), par exemple, cherche à rassembler les forces de nombreuses îles européennes dans le cadre d'un engagement politique général en faveur des différentes autorités / acteurs clés des îles individuelles afin de promouvoir des solutions énergétiques durables dans le cadre des directives stratégiques UE 2020. Il vise à créer des groupes d'étude dont l'objectif est d'identifier les besoins de formation prioritaire pour chaque île participante et d'encourager les autres îles à s'associer à l'effort élargi. Un engagement plus large des parties prenantes peut être aidé par de telles mesures. Cependant, le contexte spécifique de chaque système distant doit être exploré dans les limites et les objectifs de la transition énergétique intelligente.

L'un des principaux enseignements à tirer d'une transition énergétique intelligente est qu'une approche de la base vers le sommet impliquant les citoyens est une étape clé dès le départ.

## 4. Transition intelligente des territoires périphériques : opportunités, défis et meilleures pratiques

Les transitions intelligentes présentent plusieurs opportunités et défis pour les communautés, les entreprises et les décideurs. Les sections suivantes présentent une vue condensée des facteurs susceptibles de guider la décision d'une communauté de mener une transition intelligente, ainsi que des difficultés à surmonter pour réaliser cette aspiration. La section 4.1 énumère les possibilités, la section 4.2 les défis, tandis que 4.3 condense ces éclairages en une série de « meilleures pratiques ».

### 4.1 Opportunités

Les différences et le contexte spécifique des différentes zones isolées nécessitent des approches différentes en matière de politique énergétique intelligente et des solutions technologiques différentes en matière d'énergie renouvelable. Certaines des grandes opportunités transférables issues des systèmes isolés passés et en cours, d'après cette étude de la littérature, sont les suivantes :



1. Les régions isolées peuvent constituer un terrain d'essai idéal pour des technologies ou des applications déjà matures ou presque. Ces systèmes ont une abondance de ressources énergétiques locales durables et peuvent constituer une source de données propre aux expériences technologiques.
2. Les systèmes isolés dotés d'énergies renouvelables offrent un énorme potentiel de réduction des coûts de l'électricité. Cela est principalement dû au fait que les technologies renouvelables connaissent une baisse des coûts avec un potentiel d'économie accru par rapport au coût de l'interconnexion sous-marine, lorsque celle-ci est possible, et au prix élevé du diesel.
3. Le stockage de l'énergie, les mesures d'efficacité énergétique et les contrôles intelligents sont de plus en plus importants pour la transition énergétique intelligente. Les systèmes isolés sont à la pointe de l'utilisation innovante du stockage et des autres techniques de gestion de la charge.
4. L'implication de la collectivité est considérée comme un élément clé du succès de la transition énergétique intelligente. Les ONG et autres organisations gouvernementales externes peuvent jouer un rôle clé dans le financement des investissements manquants.
5. La transition énergétique intelligente dans des systèmes isolés améliore la résilience du système à long terme, fournit une source d'énergie durable et peut servir de solution modulaire pour des systèmes plus importants et pour la réplification dans d'autres systèmes isolés.

## 4.2 Défis

Un problème inhérent aux systèmes électriques isolés est leur taille relativement petite et leur situation souvent reculée. Par extension, cela peut imposer des conditions difficiles sur leurs marchés de l'électricité. De plus, l'équilibrage de la grille peut être plus difficile en raison des options relativement limitées offertes par la portée traditionnellement limitée du système. Cela pose des défis, mais aussi le potentiel d'approches nouvelles et plus innovantes. Voici quelques-uns des grands défis transférables des projets de transition énergétique intelligente des systèmes isolés passés et actuels suggérés par cette revue de la littérature.

1. Il y a un manque de cadres juridiques et réglementaires de soutien ciblés destinés spécifiquement au contexte des systèmes électriques isolés. Cela peut inclure des politiques et des cadres pour aider à la planification et à la mise en œuvre des projets et pour concevoir des incitations appropriées. En outre, certains pays peuvent s'engager à des structures de coûts équitables pour tous les consommateurs, ce qui constitue un domaine supplémentaire à prendre en compte pour déterminer les options de transition vers un système intelligent et renouvelable. La France est un cas où cela peut être un problème.
2. Les investisseurs peuvent rencontrer un manque d'accès au capital en raison de la petite taille des projets, souvent avec un délai de retour sur investissement important. La capacité des transitions énergétiques intelligentes à financer des projets sans participation du secteur public peut être limitée. Cela peut être compensé par des coûts existants élevés, qui ont un impact sur l'économie locale de l'approvisionnement en électricité.
3. Il existe un problème sous-jacent lié à la stabilité du réseau à l'échelle des réseaux de petite taille et au déploiement relativement élevé de sources renouvelables intermittentes. Il est donc nécessaire de déterminer le niveau approprié de pénétration des énergies renouvelables pour le système



électrique isolé spécifique et de le faire correspondre à des outils de gestion de réseau plus actifs au fur et à mesure que les défis d'équilibrage deviennent exigeants.

4. Les opérateurs électriques locaux ont besoin de nouveaux modèles économiques pour inclure la priorisation de l'efficacité énergétique et, en outre, trouver d'autres sources de revenus innovantes afin de faciliter la transition énergétique intelligente.

5. Le manque d'expertise technique et la formation d'experts locaux pour les technologies énergétiques intelligentes au sein de la communauté locale seront généralement inexistantes au départ. La mise à disposition de formations pour le personnel local et la fourniture de financements connexes peuvent être nécessaires pour ces systèmes, mais cela peut également fournir une représentation visuelle des avantages socio-économiques locaux découlant du nouveau système.

6. L'atténuation des risques dans le nouveau système est une préoccupation majeure. Les principaux acteurs du secteur énergétique estiment que l'atténuation ciblée des risques peut améliorer sensiblement l'attrait des projets énergétiques intelligents isolés. Le risque de développement lié au refus de la communauté ou de l'opérateur électrique de soutenir la transition peut considérablement freiner la transition énergétique intelligente.

7. S'il existe, le subventionnement continu des sources d'énergie fossiles constitue l'un des principaux obstacles à l'adoption plus large de sources d'énergie durables dans les systèmes isolés. Le coût des combustibles fossiles est prohibitif pour le développement économique des territoires isolés. Avec une dépendance à l'égard des combustibles fossiles pour l'électricité, ces systèmes se retrouveront avec une source de production d'électricité beaucoup plus coûteuse et non sécurisée.

### 4.3 Meilleures pratiques

Dans le tableau ci-dessous, nous décrivons une série de meilleures pratiques découlant de l'analyse précédente et soulignons la pertinence pour le cas spécifique du projet ICE.

<b>Meilleure pratique</b>	<b>Raisonnement</b>	<b>Pertinence pour ICE</b>	<b>Considérations pratiques</b>
<i>Adopter de nouvelles technologies</i>	Les difficultés inhérentes aux systèmes énergétiques insulaires signifient que les technologies nouvelles seront particulièrement utiles.	Ouessant, en tant que système complètement isolé, peut bénéficier d'une technologie de stockage en accumulateur.	Le dimensionnement approprié des accumulateurs avec les meilleures options de sources de génération hybrides nécessite une attention particulière.
<i>Impliquer les communautés locales</i>	Créer une nouvelle forme de système énergétique ne peut pas être imposé par le sommet à la base. Il est vital que, non seulement l'engagement de la communauté ne soit pas perçu que comme un simple outil permettant de faire disparaître toute résistance aux changements, mais que la	La communauté locale est fortement impliquée dans les activités se déroulant sur l'île. Elle fera partie intégrante de la	Une approche ascendante est essentielle, avec des consultations continues à chaque étape de la transition énergétique.



	nature, le timing et l'ampleur des changements soient le résultat de véritables échanges et discussions au sein du groupe de participants.	réalisation des projets sur l'île.	
<i>Impliquer les entreprises locales</i>	Les avantages économiques à long terme de la transition peuvent être associés à la fourniture continue de biens et services par les entreprises de l'île.	Cela peut maximiser les opportunités financières pour les entreprises locales existantes et créer des emplois, ce qui peut favoriser l'acceptabilité.	Mesurer le taux de rendement requis par l'investisseur et réduire les risques de développement (adhésion de la communauté, obtention de permis, etc.) rencontrés
<i>Investir dans les compétences et les capacités</i>	Dans de nombreuses petites communautés, la capacité et les compétences requises pour entreprendre une transition du système énergétique sont très limitées. Les décisions stratégiques concernant les compétences à favoriser peuvent renforcer la résilience économique à long terme.	Il y a un manque d'établissements de formation et d'expertise sur l'île. Les principaux experts clés de la société énergétique sont basés en France métropolitaine.	Former la population locale aux problèmes de la transition intelligente. Un renforcement et une rétention innovants et collaboratifs des capacités sont nécessaires.
<i>Envisager des modèles économiques alternatifs</i>	Il se peut que des projets énergétiques menés par les collectivités ou par des entreprises locales soient mieux adaptés aux contextes insulaires que les modèles d'entreprise de services publics traditionnels.	Un effort pour développer des projets pilotes peut attirer des financements de démarrage qui pourront ensuite être étendus sur des sites de démonstration.	Les partenariats public-privé peuvent donner des dividendes énormes dans ce cas.
<i>Jouer sur ses points forts mais être réaliste quant aux options d'approvisionnement</i>	De nombreuses îles ont des ressources énergétiques impressionnantes, mais celles-ci sont souvent concentrées dans une ou deux ressources, ce qui limite la capacité à s'appuyer exclusivement sur ces ressources.	Il y a beaucoup de ressources éoliennes à Ouessant, mais en raison de problèmes de conservation stricts, cette ressource ne peut être exploitée qu'en partie. D'autres technologies telles que le solaire devront être le principal acteur de cette transition.	Un système à petite échelle et à forte pénétration peut constituer une bonne base pour des systèmes à grande pénétration à grande échelle et pour tester la viabilité et l'acceptation des technologies disponibles.



*Utiliser l'énergie à bon escient*

Réduire les pics de demande globaux et rendre la demande énergétique plus sensible à la disponibilité des ressources peut réduire les coûts de production et de distribution et contribuer activement à la fiabilité du système.	Un rôle actif pour le consommateur peut différer les investissements de production coûteux et peut également conduire à un réseau plus fiable avec moins de différences dans les pics et les creux du cycle de la demande.	Utilisation de technologies intelligentes pour influencer le comportement des consommateurs locaux en les incitant à réduire la demande.
--	--	--

**Tableau 4.1 Série de meilleures pratiques tirées de l'analyse précédente**

#### 4.4 Conclusion

Cette étude met en lumière les leçons apprises et les meilleures pratiques observées lors des transitions énergétiques passées et actuelles dans des territoires isolés. Un aperçu des différents types de méthodes telles que les méthodes analytiques, de modélisation et les implémentations pratiques pouvant être utilisées pour comprendre les transitions énergétiques intelligentes est mis en évidence. Les nombreuses études de cas qui ont été et sont actuellement utilisées pour des transitions énergétiques intelligentes dans des zones reculées sont essentielles pour obtenir des informations sur les meilleures pratiques pouvant être adoptées et identifier les enseignements les plus importants du processus de transition.

Les leçons clés et les meilleures pratiques ont été classées en quatre domaines clés : technologique ; financier et économique ; politique et développement durable ; et engagement des parties prenantes. Chaque système isolé spécifique nécessitera une approche différente pour optimiser sa transition énergétique intelligente, autour du concept selon lequel les solutions à micro-échelle sont utiles aux problèmes à micro-échelle. Ces systèmes ou îles isolés devraient pouvoir bénéficier de mécanismes d'innovation, de fonds, de politiques et de mécanismes réglementaires adaptés à leurs besoins. Ils peuvent nécessiter une mise en œuvre spécifique de solutions pour faire face à l'ensemble des obstacles pouvant découler d'une interaction complexe de tous ces facteurs dans un milieu pour lequel ils n'ont pas été conçus. L'accent devrait être mis sur l'élimination des obstacles liés à la taille relativement petite, aux problèmes d'équilibrage des réseaux et aux économies inhabituelles résultant des coûts potentiels élevés et de l'échelle défavorable pour de nouveaux investissements. En outre, la situation contextuelle du système isolé informe l'adéquation des différents types de solutions énergétiques intelligentes telles que les véhicules électriques ou d'autres sources de production telles que la production combinée de chaleur / électricité, le chauffe-eau solaire et la production décentralisée. Cela insiste sur la nécessité de meilleures pratiques pour des territoires périphériques similaires sur ce qui devrait être placé sur le réseau spécifique de chaque système. Inclure l'optimisation des investissements dans le système pour déployer le stockage de l'énergie et passer à une gestion de réseau et à une réponse à la demande plus actives. Il s'agit d'un exercice utile pour maintenir la fiabilité, améliorer la durabilité et rendre potentiellement disponible une électricité plus abordable pour les consommateurs d'électricité insulaires (Eurelectric, 2017).



Les leçons tirées des îles et des communautés périphériques en transition (en tant que laboratoire doté de données propres) peuvent aider les régions continentales à mieux comprendre les défis techniques, financiers et opérationnels de la transition vers des solutions énergétiques intelligentes. La nécessité d'avoir un aperçu de ces systèmes incite à comprendre la transition énergétique intelligente et définir cette approche générale pour entreprendre une telle transition. Comme le démontrent de nombreuses études de cas, les zones isolées constituent un terrain d'essai précieux pour le déploiement réel de solutions de stockage innovantes, de technologies axées sur la demande et d'autres solutions énergétiques intelligentes. La section suivante propose une méthodologie générale pour la transition énergétique des communautés isolées et périphériques, développée et rapportée dans le rapport ICE T2.1.2.

## 5. L'approche méthodologique d'ICE

Cette section présente une vue d'ensemble de l'approche méthodologique proposée pour la conception et la mise en œuvre de systèmes énergétiques insulaires intelligents. Elle s'appuie sur une étude documentaire de la littérature disponible sur les îles à système énergétique intelligent, les réflexions actuelles sur la planification du système électrique et les défis auxquels sont confrontés les systèmes isolés (par exemple, Ouessant). L'approche consiste en une série d'étapes séquentielles et d'itérations entre étapes qui visent à guider les communautés à travers le processus de création d'un réseau énergétique insulaire intelligent. Le caractère unique de cette approche est l'accent mis sur l'implication des compétences, des entreprises, et de l'industrie locales dans la livraison du programme, avec l'objectif de conserver ces bénéfices à long-terme à l'intérieur de la communauté.

### 5.1 Introduction à la méthodologie d'ICE

La méthodologie ICE proposée, décrite ici, aide à concevoir le modèle économique ICE pour la transition énergétique des territoires isolés, développé dans les tâches T2.2 et T2.3 du projet ICE. Le modèle économique fera la promotion de l'emploi, soutiendra la mobilité de la main d'œuvre, et mettra en valeur la compétitivité des PME sur toute la zone canal, ainsi que sur les autres îles et communautés périphériques. L'approche méthodologique proposée ici correspond à un ensemble de règles génériques transmissibles, conçues en vue d'être appliquées sur les territoires insulaires et isolés, dans un large éventail de situations.

L'approche s'appuie sur les expériences récentes de transitions insulaires énergétiques intelligentes (voir section 2) et sur les approches connues de la planification des systèmes électriques en général, et des îles à système énergétique intelligent en particulier. Elle couvre les questions comme la demande électrique générale, les capacités et l'approvisionnement énergétique, le potentiel d'efficacité énergétique, les ressources énergétiques indigènes exploitables, les contraintes légales, environnementales et sociales, ainsi que le potentiel des technologies et pratiques intelligentes.

La méthodologie ICE s'appuie sur les expériences et l'utilisation de méthodes telles que la Planification Intégrée des Ressources (PIR). La PIR est une méthode établie et bien connue de planification de systèmes électriques qui a été utilisée par les compagnies d'électricité partout dans le monde depuis les années 1980 en tant que processus de planification transparent et participatif pour leurs réseaux électriques (Tellus Institute, 1999). La PIR peut rendre la planification plus ouverte et aider à identifier les voies par lesquelles un réseau électrique peut atteindre ses objectifs à long terme. La PIR s'est



révélée applicable dans le cas de la transition énergétique intelligente des territoires insulaires, où une approche du système dans son ensemble est particulièrement précieuse (Campbell et Bunker, 2017).

Le cœur du processus de PIR se définit par les étapes suivantes :

- (i) Etablir des objectifs ;
- (ii) Enquêter sur les tendances de consommation énergétique, et développer des prévisions de la demande ;
- (iii) Examiner les options d’approvisionnement en électricité ;
- (iv) Examiner la gestion de la demande et les mesures d’efficacité énergétique ;
- (v) Préparer et évaluer les plans d’approvisionnement et les plans de gestion de la demande ;
- (vi) Intégrer les plans d’approvisionnement et de gestion de la demande aux plans de ressources intégrées encore à l’essai ;
- (vii) Sélectionner le plan préféré ;
- (viii) Mettre en œuvre le plan, le contrôler, l’évaluer, et le réitérer (révision et modification du plan).

Il existe une approche similaire au processus de PIR, basée sur un cadre de travail directement utilisable dans lequel les communautés peuvent organiser leurs transitions énergétiques. Cette approche s’appuie sur un document d’orientation générale (DOG) qui sert de guide en vue du lancement, de la planification et de l’achèvement réussis d’une transition vers un réseau énergétique reposant principalement sur les ressources locales (ETI, 2017). L’approche DOG est orientée projet et inclut un dialogue constructif reposant sur les ressources et les leçons tirées des efforts entrepris par d’autres communautés dans le cadre de la transition énergétique intelligente. Le DOG se compose de sept phases :

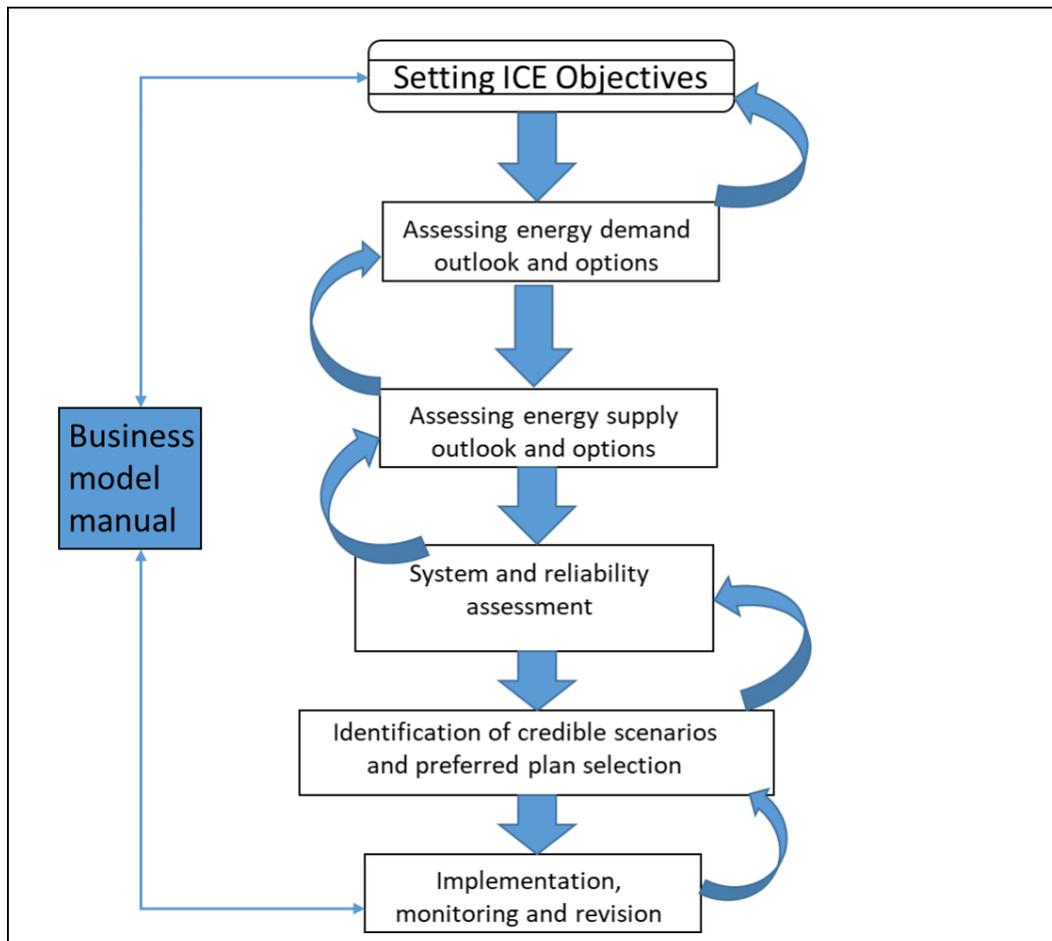
- (i) Engagement dans la transition énergétique ;
- (ii) Détermination de la vision ;
- (iii) Évaluation des opportunités ;
- (iv) Préparation du projet ;
- (v) Exécution du projet et contrôle qualité ;
- (vi) Exploitation et maintenance ;
- (vii) Amélioration du processus.

Les phases du DOG représentent des étapes pratiques vers les objectifs de la communauté. Les actions reposent sur des observations empiriques de la part d’un large nombre de communautés issues de territoires insulaires à la recherche d’un système énergétique intelligent.

La PIR et le DOG se ressemblent sur certains points, mais divergent sur d’autres. Les deux sont orientés vers l’action, les organismes locaux et habitants des territoires concernés étant les premiers acteurs du changement, contrairement au concept des feuilles de routes nationales en matière de transition énergétique sur les îles, qui a tendance à se concentrer sur l’acquisition et l’analyse de données (IRENA, 2017). Cependant, la PIR est en grande partie une entreprise technocratique du sommet vers la base pour laquelle il est attendu que le changement soit amorcé et exécuté par un fournisseur d’énergie (habituellement une compagnie) selon son interprétation des besoins des usagers, en dépit de la contribution substantielle des parties prenantes. Le DOG, pour sa part, représente une approche de la base vers le sommet, partant du principe que les communautés et leurs représentants puissent



travailler de concert avec les responsables de services publics pour apporter le changement. La rigueur technique de la PIR et la qualité consensuelle du DOG initié par la collectivité, au lieu de se contredire, présentent des leçons complémentaires sur la création et l'orientation des changements de système. L'approche méthodologique d'ICE, présentée ci-dessous, combine les aspects de planification du PIR et la priorité projet du DOG. Elle élargit également la portée de chacun d'entre eux pour incorporer la promotion des entreprises locales en mesure de fournir des services en soutien à la transition, comme illustré ci-dessous sur la Figure 5.1.



**Figure 5.1** Vue schématique de l'approche méthodologique d'ICE

L'approche méthodologique qu'ICE propose comprend sept étapes étroitement liées. Six d'entre elles représentent un hybride, basé sur les éléments les plus adéquats des approches de la PIR et du DOG. Le septième élément est un composant du manuel de modèle économique, qui sera adapté aux spécificités des territoires isolés. La transférabilité et la robustesse de la méthodologie d'ICE pour la transition énergétique intelligente sur les territoires isolés seront délimitées dans le cadre de l'ensemble des lignes directrices pour la transition intelligente et le manuel de modèle économique. Cela sera la garantie que la sécurité énergétique sera prise en considération, tout comme les fiabilités cibles, les choix politiques et technologiques, et les options pour les impacts environnementaux relatifs.

Un ensemble de directives pour s'orienter dans le processus est présenté dans le rapport T2.1.2.



## Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier leurs collègues du consortium ICE pour leur contribution utile à ce rapport.



## Références

Bickel, S. E. *et al.* (2003) *Environmental issues and best practices for renewable energy systems. In Environmental guidelines for development activities in Latin America and the Caribbean, USAID.* Washington DC.

Bompard, E. *et al.* (2012) *Smart Energy Grids and Complexity Science, Joint Research Centre Scientific and Policy Reports.* doi: 10.2790/69368.

Bunker, K. *et al.* (2015) 'Renewable Microgrids: Profiles From Islands and Remote Communities Across the Globe', (November). Available at: <http://www.rmi.org/Content/Files/RMI-Islands-RenewableMicrogrids-FINAL-20151103.pdf>.

BusinessGreen (2012) *Faroe Islands reveals power of 'world's first' smart grid.* Available at: <https://www.businessgreen.com/bg/news/2226500/faroe-islands-reveals-power-of-worlds-first-smart-grid> (Accessed: 15 January 2018).

Campbell, S. and Bunker, K. (2017) *A Simple Integrated Resource Planning ( IRP ) Process Applicable to Island Territories and Nations: Scenario-Based Approach.*

CyprusProfile (2017) *East Med Energy Centre.* Available at: <http://www.cyprusprofile.com/en/sectors/energy-and-environment> (Accessed: 1 March 2018).

Danish Energy Agency (1996) *Energy 21: The Danish Government's Action Plan for Energy 1996.* The Ministry. Available at: <https://books.google.co.uk/books?id=KeLpAQAAAJ>.

Dimitrovski, A., Ford, A. and Tomsovic, K. (2007) 'An Interdisciplinary Approach to Long-Term Modelling for Power System Expansion', *International Journal of Critical Infrastructures*, 3, pp. 235–264.

Dyner, I. (1996) *System dynamics platforms for integrated energy analysis.* University of London London Business School.

ETI (2017) 'Islands playbook - Energy Transition Initiative'. Available at: <http://www.eere.energy.gov/islandsplaybook/>.

Eurelectric (2012) *EU islands: Towards a Sustainable Energy Future.* doi: D/2012/12.105/24.

Eurelectric (2017) *Towards the Energy Transition on Europe's Islands.*

European Commission (2015) 'Energy Union Briefing Paper'. European Commission.

La Graciosa Project (2015) *La Graciosa, the intelligent energy island.* Available at: <https://www.endesa.com/en/projects/a201701-la-graciosa-the-intelligent-energy-island.html> (Accessed: 21 February 2018).

Green Eigg (2010) *The Isle of Eigg – trying to be that little bit greener, step by step.* Available at: <https://islandsgoinggreen.org/about/eigg-electric/>.

Hirsch, B. *et al.* (2015) *Sustainable Energy for Remote Indonesian Grids: Accelerating Project Development.* Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64018.pdf>.

Hydro Tasmania (2014) *King Island renewable energy integration project.* Available at: <http://www.kingislandrenewableenergy.com.au/project-information/diesel-ups> (Accessed: 3 March 2018).



- IEA (2012) 'Renewable energy for remote areas and islands', (April).
- IEA (2013) *International Energy Agency, World Energy Outlook 2013*. Available at: [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf) (Accessed: 1 September 2016).
- Ilic, M., Xie, L. and Liu, Q. (2013) *Engineering IT-Enabled Sustainable Electricity Services: The Tale of Two Low-Cost Green Azores Islands*. Springer Science & Business.
- IRENA (2014a) *A Path to Prosperity: Renewable Energy for Islands*.
- IRENA (2014b) *Renewable Energy Opportunities for Islands Tourism*.
- IRENA (2015) *Renewable energy in islands Challenges and solutions*. Bonn.
- IRENA (2017) *National energy roadmaps for islands*. Available at: <http://www.irena.org/publications/2017/Feb/National-Energy-Roadmaps-for-Islands>.
- Islands Energy Program (2016) *Statement of qualifications*. Available at: <http://carbonwarroom.com/content/islands-energy-program#impact> (Accessed: 14 October 2016).
- ISRER (2010) *International Study of RE-Regions; Pellworm Island, Germany*. Available at: <http://reregions.blogspot.co.uk/2010/03/pellworm-island.html>.
- ISRR (2009a) *Pellworm Island Germany*. Available at: <http://reregions.blogspot.co.uk/2010/03/pellworm-island.html> (Accessed: 1 March 2018).
- ISRR (2009b) *Samsø Denmark*. Available at: <http://reregions.blogspot.co.uk/2010/03/samsoe-denmark.html> (Accessed: 1 March 2018).
- Lalor, G. R. (2005) *Frequency Control on an Island Power System with Evolving Plant Mix*. The National University of Ireland.
- Matthew, G. J. (2017) *Sustainable Low-Carbon Isolated Island Electricity Systems - Policy and Investment Impacts Assessed using System Dynamics*. The Open University. Available at: <http://oro.open.ac.uk/52360/>.
- MIT (2011) *The Future of the Electric Grid, An Interdisciplinary MIT Study*. Mit. doi: ISBN 978-0-9828008-6-7.
- NRC (2015) *Ramea Island: Wind-Hydrogen-Diesel on Ramea Island*. Available at: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/renewable-electricity/wind/7319> (Accessed: 3 March 2018).
- Owlia, M. S. and Dastkhan, H. (2012) 'An Application of System Dynamics in Electricity Supply Systems: Case of Yazd Regional Electricity Company in Iran', in *30th International Conference of the System Dynamics Society*. Available at: <https://www.systemdynamics.org/conferences/2012/proceed/papers/P1008.pdf> (Accessed: 15 May 2017).
- Parness, M. (2011) *The Environmental and Cost Impacts of Vehicle Electrification in the Azores*. MIT.
- Pina, A., Silva, C. and Ferrão, P. (2012) 'The impact of demand side management strategies in the penetration of renewable electricity', *Energy*. Elsevier Ltd, 41(1), pp. 128–137. doi: 10.1016/j.energy.2011.06.013.



REE (2018) *Electricity link project Majorca-Ibiza*. Available at: <http://www.ree.es/en/activities/unique-projects/electricity-link-majorca-ibiza> (Accessed: 1 March 2018).

Sawin, J., Seyboth, K. and Sverrisson, F. (2016) *Renewables 2016 Global Status Report - Full Report*. Paris. Available at: <http://www.ren21.net/resources/publications/>.

SmartPV (2017) *Smart net metering for promotion and cost-efficient grid integration of PV technology in Cyprus*. Available at: <http://www.smartpvproject.eu/> (Accessed: 21 February 2018).

SmileGov (2009) *Pact of Islands*. Available at: <http://www.sustainableislands.eu/island-clusters/Island-clusters-location.html> (Accessed: 10 October 2017).

stoRE (2011) *Project Store*. Available at: <http://www.store-project.eu/> (Accessed: 2 February 2018).

Tellus Institute (1999) *Best Practices Guide : Integrated Resource Planning For Electricity, Environment*. Boston, MA.

TILOS (2017) *Technology Innovation for Local Scale Optimum Integration of Battery Energy Storage*. Available at: <https://www.tiloshorizon.eu/tilos.html>.

US DoE (2004) *Modern Grid Initiative Report, The Smart Grid: An Introduction*. Available at: [https://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE\\_SG\\_Book\\_Single\\_Pages\(1\).pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/DOE_SG_Book_Single_Pages(1).pdf).

Vallvé, X. (2013) 'Renewable Energies for Remote Areas and Islands (REMOTÉ)', in *Microgrids Symposium*. Santiago. Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/promotingee2008.pdf>.

Visit Samsøe (2017) *20 Years as Denmark's Renewable Energy Island*. Available at: <https://www.visitsamsøe.dk/en/inspiration/20-years-denmarks-renewable-energy-island/>.

Weisser, D. (2004) 'On the economics of electricity consumption in small island developing states: a role for renewable energy technologies?', *Energy Policy*, 32(1), pp. 127–140. doi: 10.1016/S0301-4215(03)00047-8.

WISEGRID (2018) *Smarter Systems. Empowered Citizens*. Available at: <https://www.wisegrid.eu/> (Accessed: 14 December 2017).

