

ÎLES ET ÉNERGIE : un paysage de contrastes

COORDINATEURS

GILLES GUERASSIMOFF

Enseignant chercheur, dirige le Mastère OSE.

NADIA MAÏZI,

Professeur, dirige le Centre de Mathématiques Appliquées.

AUTEURS

Promotion 2007 du Mastère OSE

PAULINE CAUMON

LYDIA COUDERT-CASSIER

THOMAS COULON

FRANÇOIS DARDENNE

JULIEN DELAÎTRE

JEAN-VICTOR ECK

ÉLIE GHANASSIA

MARIA GIRALT-DEVANT

CLARA KAYSER-BRIL

ALEXANDRE LEVY

CINDY LIOTARD

ANNE-SOLÈNE MALIDIN

REDWANE MARIE

ARMELLE PAYEN

ERIC RANDIMBIVOLOLONA

CLAIRE REYNAUD

MATHIEU ROUZEYRE

JULIEN TCHERNIA

AURÉLIE VUILLERMOZ

CLAIRE WEBER

AVANT PROPOS

Comment coordonner un groupe d'ingénieurs et managers se spécialisant dans l'optimisation des systèmes énergétiques dans l'élaboration d'un travail original illustrant cette thématique ? Tel est le challenge que nous relevons chaque année avec les promotions du Mastère OSE spécialisé en Ingénierie et Gestion de l'Énergie de l'École des Mines de Paris. Cette formation propose un éclairage original sur l'optimisation et la prospective appliquées au monde de l'énergie. Vous trouverez tous les renseignements sur notre site internet <http://www.ose.cma.fr>.

Dès le début de leur formation, nous proposons aux étudiants un sujet original afin qu'ils puissent produire un travail de qualité se déclinant en plusieurs éléments dont le présent ouvrage. Pour la promotion 2007, quoi de plus complet et passionnant que la problématique énergétique insulaire ? Ce sujet hautement d'actualité dans le contexte du changement climatique permet d'aborder un système énergétique complet et complexe.

Une île présente l'avantage, à différentes échelles, de couvrir l'ensemble de la chaîne énergétique dans tous ses aspects (techniques, économiques, environnementaux et politiques).

Hormis la synthèse qui a abouti à ce livre, un voyage d'étude a été entrepris dans les Caraïbes afin d'illustrer et d'approfondir leurs connaissances de l'énergie et l'insularité. Pendant ce voyage, les élèves ont eu à dispenser une conférence sur ce sujet à trois reprises : à l'Université des West Indies à Trinité & Tobago, au Ministère de l'Énergie de la Barbade et au centre de dispatching d'EDF Guadeloupe devant un public de l'Université d'Antilles Guyane. Enfin, la thématique des énergies renouvelables a servi à l'élaboration d'un salon « Électrons Libres » qui s'est déroulé au Palais Acropolis de Nice les 26 et 27 septembre 2008.

A partir de cette thématique, il est illusoire de penser faire le tour de la question en un seul ouvrage. « Îles et énergie », la question est vaste et le simple fait de vouloir définir et classer toutes les îles demanderait un travail colossal ! Cependant, nous ne pouvions réaliser cet ouvrage sur les îles sans aborder cette question. Cette synthèse commence donc par une réflexion sur cette classification afin de la rendre utile au plus grand nombre.

Ensuite, à la lumière de ce premier chapitre, nous nous concentrons sur les ressources et gisements d'énergie que l'on peut trouver dans les îles pour se focaliser ensuite sur la problématique électrique. Après ces articles techniques, il est important d'aborder les aspects de politique énergétique qui sont indispensables à la compréhension de l'état actuel du développement lié à la problématique énergie dans les îles. Enfin, l'exploitation de toutes ces informations aboutit à l'élaboration de douze cas concrets au travers de fiches synthétiques illustrées.

AVERTISSEMENTS

Cet ouvrage ne peut prétendre à l'exhaustivité sur la question comme pourrait l'évoquer son titre. Nous n'avons pas quantifié en détail la question de la demande en énergie et son évolution. L'étude des secteurs traditionnels que sont l'industrie, le résidentiel, le tertiaire ainsi que le transport n'a pu être réalisée de façon détaillée car elle aurait demandé une attention particulière qui n'était pas le but de ce livre.

Les élèves qui ont rédigé les articles ont forcément inconsciemment pris parti dans certaines de leurs analyses et nous leur avons volontairement laissé cette liberté afin de susciter la réflexion du lecteur.

Les spécialistes pourront trouver que certains passages montrent un manque de recul pour être complètement pertinent ; quant aux néophytes, cet ouvrage leur permettra de découvrir une problématique complexe à travers des opinions, qui, quelquefois doivent être débattues. Nous vous invitons par conséquent à vous référer à la bibliographie de chacun des articles afin de parfaire vos connaissances.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes ayant apporté une contribution à l'élaboration de cet ouvrage, que ce soit par les discussions qu'ont pu avoir les auteurs avec les spécialistes des thématiques abordées, par les visites que nous avons effectuées lors de notre voyage d'étude dans les Caraïbes ou par les relectures des articles par des spécialistes du milieu insulaire.

Nous tenons à remercier tout particulièrement le département « Systèmes Énergétiques Insulaires » d'EDF et notamment Pascal RIOUAL pour son regard critique sur l'ouvrage et surtout Frédéric VERDOL, ancien élève de la première promotion du Mastère OSE, pour ses nombreuses documentations, ses conseils et sa relecture pertinente tout au long de la réalisation des articles.

Il est très important d'avoir eu ce regard critique, même si nous n'avons pu intégrer toutes les remarques qui nous ont été faites. Il nous a permis de mettre en garde le lecteur pour les prises de positions et pour les imperfections dont peut parfois souffrir cet ouvrage sans en ôter toute sa valeur pour un éclairage sur la question de l'énergie en milieu insulaire.

Enfin, je tiens à remercier tout particulièrement tous les élèves-auteurs de la promotion 2007 ainsi que Nadia MAÏZI pour leur travail acharné qui a rendu possible la publication de cet ouvrage.

Bonne lecture.

GILLES GUERASSIMOFF

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	2
INTRODUCTION	5
CHAPITRE 1 : CARACTÉRISER L'ÉNERGIE DANS LES ÎLES	11
CHAPITRE 2 : RESSOURCES EN ÉNERGIE : FRAGILITÉ ET ATOUT DES ÎLES	61
ARTICLE 1 : ÉNERGIES FOSSILES DANS LES ÎLES, UNE DROGUE ?	63
ARTICLE 2 : LA BIOMASSE, RESSOURCE LOCALE ET MULTIFORME	73
ARTICLE 3 : LES GISEMENTS ÉOLIENS, UNE SOLUTION AUX MAUX DES ÎLES ?	91
ARTICLE 4 : L'ÉNERGIE SOLAIRE POUR LES ÎLES – UNE SOLUTION SOUS-ESTIMÉE ?	123
CHAPITRE 3 : ÉLECTRICITÉ ET ÎLES	141
ARTICLE 1 : L'ÉLECTRICITÉ DANS LES ÎLES : VERS UNE PRODUCTION DURABLE ?	143
ARTICLE 2 : LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE : FAIRE FACE À L'ISOLEMENT	171
ARTICLE 3 : LES NOUVELLES TECHNOLOGIES, UN ENJEU ENVIRONNEMENTAL	189
CHAPITRE 4 : POLITIQUES DE DÉVELOPPEMENT : RÉPONDRE À LA DEMANDE EN MILIEU INSULAIRE	205
ARTICLE 1 : POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES ET INSULARITÉ	207
ARTICLE 2 : HOMMES ET ÉNERGIES : UN OCÉAN D'APPÉTITS POUR UN ÎLOT D'OPPORTUNITÉS	227
ARTICLE 3 : ÉNERGIE DURABLE ET MAÎTRISE DE LA DEMANDE	243
CHAPITRE 5 : ÎLES ET ÉNERGIE : UNE PROBLÉMATIQUE, DOUZE ILLUSTRATIONS	257
POUR ALLER PLUS LOIN	317
TABLE DES MATIÈRES	321

Introduction

Multiples facettes de l'énergie et des îles

NADIA MAÏZI

Premières victimes des bouleversements qui menacent la planète dans les prochaines années, les îles subissent bien malgré elles et en avant première les conséquences du changement climatique. Y aurait-il alors quelques enseignements à tirer de ces expériences insulaires, pour ce qui relève de l'énergie ?

C'est dans cette aventure que nous avons souhaité embarquer nos jeunes ingénieurs. Nous imaginions ramener de ce voyage un ouvrage fait de cas types et de grandes orientations, mettant en évidence moult points communs et similitudes entre ces territoires fragiles dans leur relation à l'énergie. Quelle inconscience ! Le résultat est tout autre, loin de ce que nous anticipions et à vrai dire, c'est ce qui fait sa richesse.

Car il n'y a rien qui ressemble moins à une île qu'une autre île. Et ajouter à la question de l'insularité la question de l'énergie n'a fait que multiplier les facettes de cette exploration tant la « problématique de l'énergie » est le reflet pour un territoire de sa géographie, de ses ressources, de son histoire, de sa démographie, de sa situation géopolitique,

Alors, à partir de la diversité et de la disparité des situations, ce travail collectif a produit à travers quatre grands chapitres thématiques un éclairage pertinent et original de la complexité du lien entre les îles et l'énergie. En outre, il propose dans une série de fiches compilées en annexe, un instantané détaillé de la situation énergétique de douze îles.

Plus précisément

Dans un premier chapitre J. Delaître, J-V. Eck, A-S. Malidin, C. Reynaud nous proposent de **Caractériser l'énergie dans les îles.**

Il s'est agi d'éviter plusieurs écueils car l'analyse des systèmes énergétiques insulaires comporte à la fois l'étude classique d'un système énergétique et la mise en perspective des paramètres spécifiques des espaces insulaires. Non seulement la contrainte géographique varie beaucoup, mais la situation politique des îles influe de façon importante sur leur développement et leur organisation, y compris du point de vue énergétique.

Il fallait tout d'abord, pour bâtir une grille d'analyse, que nos jeunes auteurs s'appuient sur les critères « classiques » de l'analyse des systèmes énergétiques : PIB PPA,

population, production et consommation d'énergie primaire, émissions de CO₂, part des énergies renouvelables dans le mix électrique, réserves totales d'énergie fossile. Il fallait également prendre en compte les spécificités des espaces insulaires. Un « indice de situation insulaire » a été établi à partir de la méthode de classification géographico-politique du géographe François Taglioni, complétée par un critère d'isolement.

Afin de comprendre les liens entre ces critères, et sous l'impulsion de leur camarade A. Payen, ils ont procédé à une Analyse en Composantes Principales, à partir de données collectées sur 70 îles choisies pour la variété de leurs situations.

Cette démarche permet de mettre en évidence la quasi indépendance des indicateurs de la situation insulaire et de la dimension énergétique. L'analyse est alors déclinée à travers trois graphiques associant l' « indice de situation insulaire » à différents indicateurs : le taux d'indépendance énergétique et les réserves de combustibles fossiles ; la consommation d'énergie primaire par habitant et le pourcentage d'énergies renouvelables dans le mix électrique ; l'intensité énergétique et l'intensité carbone.

Finalement, et malgré les nombreuses limites de cette étude, la méthodologie développée, au-delà de l'analyse menée sur les 70 espaces insulaires, propose une grille de lecture permettant la mise en perspective de la situation énergétique de n'importe quel système insulaire. Elle sera reprise dans la série de fiches qui fait l'objet de l'annexe principale de cet ouvrage.

Pour aller plus loin dans l'analyse, les trois chapitres qui suivent enrichissent la réflexion d'une approche qualitative afin d'aborder les questions de ressources, de technologies et de demande.

Le second chapitre, **Ressources en énergie : fragilité et atouts des îles**, se compose de quatre articles de E. Randimbivololona, A. Vuillermoz, P. Caumon, L. Coudert-Cassier et A. Levy.

Ici la question posée est celle de l'accès à l'énergie, sachant que chaque territoire, pour assurer son approvisionnement, doit d'une part trouver un mix énergétique en adéquation avec ses spécificités, et d'autre part garantir la pérennité de ce mix. Face à cet enjeu d'autant plus stratégique que les ressources mondiales se raréfient, se dessinent deux catégories : les îles exportatrices qui représentent une minorité favorisée par la répartition géographique très inégale des ressources fossiles ; et, à l'opposé, les îles importatrices qui sont majoritaires et luttent pour subvenir à leur demande en énergie.

Pour les exceptions, E. Randimbivololona décrypte pour nous le cas des îles riches en ressources fossiles et propose sa vision : *Les énergies fossiles, une drogue ?* Car il arrive que certains territoires soient écartelés entre deux objectifs : garantir leur indépendance énergétique et faire fructifier leur rente de ressource.

Pour la majorité des îles, comment gérer le déficit de ressources ? Souvent avec des politiques d'approvisionnement fortes, mais aussi par l'exploitation des spécificités locales. En effet, dans un contexte où le prix du baril de pétrole fluctue autour de 140\$, il devient urgent de déplacer les usages vers les énergies accessibles localement. Or l'évaluation du potentiel des énergies renouvelables est encore bien souvent une étape limitant leur développement. La plupart des économies insulaires, fragiles et contraintes, n'ont pas les moyens de s'y investir, et on observe à travers la planète une grande

disparité des connaissances dans ce domaine, fortement corrélée au niveau de vie. Alors que beaucoup d'îles n'évaluent pas leur potentiel quand bien même elles pressentent qu'il est important, trois articles offrent un panorama de ces ressources.

A. Vuillermoz se penche sur : *La biomasse, ressource locale et multiforme*. Il s'agit de l'une des principales sources dans lesquelles les îles puisent aujourd'hui leur énergie, et la variété de ses options d'exploitation lui donne un caractère unique, tout en faisant peser une menace environnementale non négligeable.

La question des énergies renouvelables dont la technologie d'exploitation est au point mais encore sous-utilisée dans les îles sera enfin envisagée dans les deux articles suivants : il ne sera donc pas question d'énergie hydraulique, dont le potentiel est généralement bien exploité dans les systèmes insulaires à petite échelle, ni de géothermie, abordée dans le chapitre III par C. Liotard, mais de se concentrer sur les gisements solaires et éoliens.

P. Caumon s'interroge ainsi : *Les gisements éoliens, solution aux maux des îles ?* Au-delà d'un rappel sur les conditions d'une exploitation efficace du vent, qui permettra d'en appréhender les limites en milieu insulaire, on trouvera un atlas précieux, recensant le potentiel éolien d'une soixantaine d'archipels à travers le monde.

Dans l'imaginaire collectif, les îles sont associées au soleil bien plus qu'au vent. L. Coudert-Cassier et A. Levy nous proposent une vision optimiste de : *L'énergie solaire, source de promesses pour les îles*, et dressent un état des lieux du développement de cette ressource dans les systèmes insulaires.

Ces éclairages sur les potentiels énergétiques insulaires, confortent la difficulté à synthétiser les résultats et de tirer des conclusions globales, tant les îles sont diverses. Les quatre articles, mettant en exergue quelques cas particuliers, notamment celui des îles exportatrices, nous permettent d'éviter des généralisations trop rapides.

Néanmoins, deux éléments sont remarquables : la plupart des îles sont peu favorisées en ressources fossiles et doivent déployer tout leur savoir-faire stratégique pour parvenir à s'approvisionner ; ces mêmes îles bénéficient par contre d'un fort potentiel d'énergies renouvelables. Un grand nombre d'îles, se situe en effet dans la zone intertropicale, où l'ensoleillement est fort, la ressource éolienne importante, et où la biomasse croît sans difficulté.

Si les énergies renouvelables s'insèrent comme composante principale dans le paysage énergétique du monde de demain, alors la tendance s'inversera pour le milieu insulaire : pour l'instant en position de faiblesse énergétique, il pourrait se retrouver non seulement à égalité, mais même plus favorisé dans ses ressources que le reste de la planète.

Encore faut-il pouvoir envisager au-delà de la ressource, les technologies de conversion, et en la matière, C. Liotard, C. Kayser-Bril et F. Dardenne nous proposent leur vision de ce qu'est et de ce que pourra être le panorama : **Electricité et îles.**

C. Liotard dans *L'électricité dans les îles : vers une production durable ?* dégage les caractéristiques communes de la production électrique pour un échantillon d'îles. La prépondérance du pétrole dans le mix de production est frappante. Cela entraîne une très forte dépendance énergétique, et une sensibilité importante aux prix du baril, alors même

que le potentiel renouvelable est élevé. Cette situation paraît peu logique a priori. Mais les difficultés logistiques, les aléas climatiques, le manque de place, le faible niveau de formation de la population locale... sont autant de facteurs qui influent sur les choix techniques en matière production d'électricité, favorisant l'adoption systématique du générateur diesel.

A cela s'ajoutent les problèmes de stabilité du réseau électrique, développés par C. Kayser-Bril dans : *Le réseau électrique : faire face à l'isolement*. L'isolement constitue une contrainte forte, qui fait de l'équilibre offre-demande une équation très difficile à résoudre. Les délestages tournants sont monnaie courante et des blackouts se produisent régulièrement. On voit donc se dégager un faisceau de contraintes qui, prises isolément, ne sont pas propres aux îles, mais dont la densité et la juxtaposition créent la spécificité insulaire.

Quelles sont les réponses ? Et comment, dans ce contexte déjà difficile, exploiter au mieux les ressources renouvelables, souvent intermittentes et difficiles à capter ? Là encore, s'il n'existe pas d'île type, on retrouve des choix techniques similaires pour faire face à ces difficultés, et des solutions originales commencent à se dessiner. F. Dardenne les explore dans *Les nouvelles technologies, un enjeu environnemental*. Il y recense les nouvelles opportunités technologiques : l'énergie des océans, les nouveaux processus de transformation de l'énergie solaire, les biocarburants de seconde génération, l'hydrogène, ... comme autant de pistes qui permettraient de diversifier le mix énergétique et d'améliorer l'auto suffisance des territoires insulaires. L'ajout de capacités de stockage sur le réseau électrique, qui émergent sur le marché, permettrait de mieux gérer les sources intermittentes et d'augmenter la part de renouvelables dans le mix.

C. Liotard souligne enfin, que les schémas techniques que l'on retrouve sur les îles sont encore trop souvent calqués sur les standards continentaux alors que les problématiques diffèrent. D'où la nécessité de mettre au point des solutions adaptées au contexte insulaire. Mais, bien que l'intérêt de ces solutions ait été maintes fois démontré, d'important efforts seront encore nécessaires au niveau technique, financier, organisationnel, pour que l'électricité insulaire devienne durable.

Tout ne serait pas dit si l'on n'abordait pas avec A. Payen, M. Giralt-Devant, R. Marie, J. Tchernia et E. Ghanassia la question de la demande à travers son traitement spécifique dans les îles dans un quatrième chapitre intitulé : **Politiques de développement : répondre à la demande en milieu insulaire.**

En matière d'énergie, les défis que doivent relever les îles sont souvent plus contraignants que ceux des continents. Alors comment peuvent-elles assurer, conformément aux recommandations du World Energy Council 2007, les trois critères principaux de la politique énergétique de chaque pays : accessibilité de l'électricité pour tous à des prix abordables, disponibilité en termes de continuité et qualité de service et en dernier lieu acceptabilité sociale et environnementale ?

Et pour préfigurer l'avenir de ces états, on nous propose de suivre le point de vue de Franklin D. Roosevelt "The only limit to our realisation of tomorrow will be our doubts about today"¹.

A. Payen et M. Giralt-Devant soulignent dans *Politiques énergétiques et insularité* comment l'orientation des politiques énergétiques insulaires qu'elles ont étudiées influencera l'indépendance énergétique et la sécurité d'approvisionnement, enjeux majeurs dans les Etats insulaires. Elles exposent la volonté des îles d'orienter leur développement énergétique vers la recherche d'une meilleure harmonie environnementale, ambition parfois contrée par un manque de moyens financiers.

Adoptant le point de vue insulaire des marchés d'approvisionnement et de la demande d'énergie dans *Hommes et Energies : un océan d'appétits pour un îlot d'opportunités*, R. Marie et J. Tchernia insistent sur les contraintes qui différencient si fortement îles et continents. Ils nous permettent de mieux appréhender la fragilité de l'île face à sa demande d'énergie et la nécessaire adaptation des acteurs pour maintenir un équilibre précaire, car il en va de la pérennité du système. En découlent des politiques et des comportements très spécifiques qu'ils décryptent pour nous. En particulier, une diversification des énergies et une maîtrise de la demande s'imposent comme outils incontournables pour les Etats qui souhaitent maintenir l'équilibre de leurs marchés.

Enfin, c'est sur la question de la maîtrise de la demande d'énergie que se concentre E. Ghanassia dans : *Energie durable et maîtrise de la demande*. Plus précisément, il nous propose une vision de ce concept qui devrait être déclinée dans le contexte insulaire, pour lequel un principe d'utilisation rationnelle de l'énergie paraît naturel voir incontournable.

Last but not least, tant il a été souligné le manque de données sur les questions abordées tout au long des chapitres précédents, M. Rouzeyre, T. Coulon et C. Weber, assistés de J. Delaître, C. Reynaud et du reste des élèves de la promotion, ont patiemment récolté et agrégé les données pour construire les fiches de références compilées en une annexe : **Îles et Energie : une problématique, douze illustrations.**

A partir de douze îles sélectionnées pour leur représentativité par rapport aux critères déclinés dans le premier chapitre de cet ouvrage, des fiches types soigneusement élaborées mettent en évidence les questions centrales permettant d'évaluer un système énergétique dans sa globalité : ressources, moyens de production et de transport, utilisation sectorielle de l'énergie finale, projets en cours.

Ces fiches fournissent une opportunité concrète de mettre en perspective l'ensemble des informations proposées dans les quatre chapitres précédents.

Enfin, pour poursuivre l'investigation sur ces sujets, une bibliographie générale coordonnée par A. Vuillermoz est proposée en fin d'ouvrage.

¹ Les seules limites à nos réalisations prochaines seront nos doutes du moment.