

Intitulé du Projet :

Systèmes énergétiques hybrides : optimisation et intégration dans un réseau décentralisé.

Nom et Prénom du Directeur de thèse principal : *Hubert STAHN*

Adresse email : hubert.stahn@univ-amu.fr

Unité de recherche de rattachement :

Groupement de Recherche en Economie Quantitative d'Aix-Marseille (GREQAM UMR 7316)

Nom et Prénom du Directeur de l'unité de Recherche : *Nicolas GRAVEL*

Ecole doctorale principale : *Sciences économiques et de gestion d'Aix-Marseille ED 372*

Nom et Prénom du co-Directeur de thèse : *Jean-Henry Ferrasse*

Adresse email : jean-henry.ferrasse@univ-amu.fr

Unité de recherche de rattachement : *Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres, M2P2, UMR 7340*

Nom et Prénom du Directeur de l'unité de Recherche : *SAGAUT Pierre*

Ecole doctorale partenaire : *Sciences de l'environnement, ED 251*

Le secteur de l'énergie est actuellement en profonde mutation. Celle-ci concerne à la fois le mode de production, les usages et les modalités de gestion du système. Aujourd'hui, la production reste relativement centralisée au sein de grosses unités et laisse peu de place aux énergies dites renouvelables. L'usage, même si les prix ont augmenté et la notion de précarité énergétique a fait son apparition, reste relativement peu maîtrisé. Enfin, malgré l'ouverture du réseau de distribution, la gestion du système reste relativement centralisée et demeure l'apanage des opérateurs historiques. Or à l'horizon 2030, ce mode de fonctionnement est appelé à être modifiée. En effet, la conversion énergétique sera basée sur des ressources renouvelables très localisées, faiblement intensives et potentiellement non connectées. Cela entraînera une modification structurelle des sites et appareillages de conversion ; le transport quant à lui sera totalement décentralisé et le sens des échanges imposera aux lignes un sens de fourniture et de charge. De plus, le fonctionnement et la gestion du réseau devra évoluer vers un système pensé pour des multiples échelles allant du bâtiment ou de la ville à des instances régionales ou nationales. Enfin, il faut rajouter à cette mutation celle du consommateur, qui en plus de devoir faire un usage raisonné et optimisé deviendra producteur

potentiel et s'intégrera à la fois dans un réseau énergétique mais aussi dans un réseau économique totalement libéré.

Le sujet de thèse, proposé ici, s'inscrit dans cette perspective sans bien évidemment demander au candidat de couvrir toutes les dimensions du problème. L'idée principale est de se concentrer sur le secteur du bâtiment qui représente près de 40% de la consommation énergétique totale et 35% des émissions de CO₂. Pour cela nous souhaitons repenser l'optimisation des flux énergétiques à l'échelle du bâtiment, du quartier ou d'une ville dans un contexte interdisciplinaire liant l'économie et les sciences de l'ingénieur. En effet, s'il est possible de concevoir des systèmes énergétiques hybrides efficaces, le risque de développer un système coûteux, complexe et ingérable au niveau de l'individu est présent. A cela il faut ajouter le risque de mettre en place des mécanismes économiques (incitatifs) visant à modifier le flux de consommations et/ou à investir dans des techniques locales de production ou d'amélioration des efficacités sans une bonne connaissance des options techniques réalisables et de leur maîtrise.

Sur le fond, cette thèse s'organisera essentiellement autour de deux thématiques : (i) la modélisation et l'amélioration de l'évaluation énergétiques des systèmes hybrides en vue de leur optimisation, ces systèmes étant, dans le cas précis, impliqué dans l'habitat ou en liant avec celui-ci et (ii) la modélisation des problèmes relatifs à la gestion de ce système et du réseau qui lui est associé dans un contexte dans lequel des acteurs multiples sont impliqués et qu'il est nécessaire de coordonner par des mécanismes incitatifs afin de mettre en œuvre des solutions efficaces.

La première thématique vise à développer une méthodologie permettant de sélectionner des solutions énergétiques thermodynamiquement efficaces parmi un ensemble d'options techniquement faisable. Les analyses énergétiques proposent un ensemble de solutions dans l'espace efficacité-paramètres. Il est impossible de discriminer à efficacité équivalente sans recourir à des métriques plus économiques. En effet, l'estimation entropique n'a pas de traductions économiques. Cette modélisation devra également permettre d'apporter des solutions à différents problèmes sous-jacent à la mise en place de ces systèmes hybrides de production comme par exemple (i) le dimensionnement du système et la nature du mix énergétique (ii) l'adéquation du système aux utilisateurs présents et potentiels, et (iii) la coordination de la production du stockage, et de l'import d'énergie (voir Gamarra (2015) and Guerrero or Hina Fathima and Palanisamy (2015)). La deuxième étape de l'analyse se propose, une fois la solution efficace sélectionné, de développer des mécanismes incitatifs permettant sa mise en œuvre. En effet, la mise en place de tels systèmes requière souvent la coordination de différents acteurs interagissant via le réseau. On peut, par exemple, penser à (i) des « prosommateurs » des agents consommant et produisant de l'énergie (photovoltaïque), (ii) des propriétaires de champs d'éoliennes ou (iii) des gestionnaires locaux du réseau gérant des capacités de stockage... Dans tous les cas, il sera nécessaire de coordonner leurs actions. Différentes pistes pourront être explorées comme : les règle de partage des coûts (Costa et all 2008), les prix contingents (Ambec-Crampes 2012), les prix de transfert équitable (Zhang et all 2013), les tarifs spécifiques (Eid et all 2015), ou la mise en place de marchés locaux d'énergie (Rosen-Madlener 2016). Il s'agira donc *in fine* de discuter des critères pertinents permettant d'évaluer ces systèmes hybrides en prenant en

considération non seulement leurs coûts de mise en œuvre et de fonctionnement mais aussi un certain nombre de bénéfices indirects comme, par exemple, les gains environnementaux.

Au-delà de la codirection nécessaire à la réalisation de ce travail, le candidat devra également attester d'un véritable esprit d'ouverture à l'interdisciplinarité et disposer d'un bagage scientifique suffisant ainsi que des connaissances en modélisation lui permettant de s'ouvrir aux deux disciplines. Une formation initiale en mathématiques appliquées serait idéale.

Argumentaire. Faire apparaître l'intérêt scientifique et interdisciplinaire/intersectoriel de la recherche, l'intérêt de la collaboration de recherche, les retombés attendues, ... :

Ce projet de thèse aborde une question sociétale de premier plan : la mutation de notre système énergétique vers un nouveau mode de fonctionnement à la fois décentralisé, plus sobre et respectueux de l'environnement. Il s'inscrit donc pleinement dans le défi 2 de la Stratégie Nationale de Recherche du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche portant sur une « Energie propre, sûre et efficace ». Ce projet met également l'accent sur l'individu, en particulier dans un contexte méditerranéen, et sur les réseaux électriques intelligents interconnectant, un niveau d'un territoire, différents acteurs ayant leur propre règle de comportement. De ce point de vue, ce projet s'intègre également dans la stratégie régionale d'innovation de la région PACA, en particulier, le Domaine Action Stratégique « Transition et efficacité énergétique » et dans le projet FLEXGRID qui sera développé dans la région PACA.

Ce projet, pour être mené à bien, ne peut s'envisager que dans un contexte interdisciplinaire et intersectorielle intégrant, dans ce cas précis, l'économie et les sciences de l'ingénieur. Cette démarche est inhérente à l'objet de l'analyse. En effet, si l'on veut appréhender des systèmes énergétiques hybrides à l'échelle d'un quartier d'une ville ou d'un territoire, il est nécessaire, pour l'économiste, de mener une analyse relativement micro-économique, en d'autres termes reposant sur les comportements individuels, mais celle-ci sera vaine sans une connaissance approfondie des solutions techniques et de leur mise en œuvre. Inversement, même s'il est assez aisé pour l'ingénieur de définir des solutions techniques pour des systèmes énergétiques hybrides et de les comparer dans un espace efficacité-paramètres, il peut être pertinent d'intégrer des considérations économiques et/ou des comportements d'acteurs permettant de sélectionner les solutions qui seront effectivement mises en œuvre. Ce double constat milite pleinement pour une codirection de thèse permettant de capitaliser les deux compétences.

D'un point de vue des méthodes, ce projet de thèse a pour objet de combiner l'analyse énergétique, l'analyse coûts-bénéfices et la théorie des jeux. La première a pour objet de produire des modèles de représentation de la conversion des systèmes qu'elle étudie. Les critères d'évaluation respectent les deux principes de la thermodynamique, à savoir, pour le premier, la conservation de l'énergie qui valide les modèles et la représentation qu'ils en font et le second qui quantifie directement les dissipations. Elle permet de ce point de vue, d'abord la question de l'efficacité énergétique d'un point de vue technique. La deuxième, l'analyse coût-bénéfice, complètera cette analyse d'efficacité en permettant de « monétiser » les avantages et les inconvénients des différentes

solutions techniques en y intégrant, d'une part, des éléments liés aux coûts ou à l'usage, et d'autre part des données sur les bénéfices indirectes (par exemple environnementaux). Enfin la théorie des jeux nous permettra d'apporter un éclairage nouveau sur les interactions sur un réseau qu'il soit physique ou induit par les comportements d'acteurs. Cette méthodologie sera aussi à la base de la définition des mécanismes incitatifs permettant d'optimiser le fonctionnement des réseaux énergétiques hybrides.

A ce stade, il est assez difficile d'évaluer les retombés précises de cette thèse, si ce n'est, bien évidemment, en termes de présentation à des conférences internationales et de publications scientifiques.

Les projets interdisciplinaires s'incluront naturellement dans **les profondes mutations régionales (traduites dans le SRADDET) ou européennes (futur FP9). Ce projet original, peu adressé dans la vie socio-économique et académique peut placer AMU dans le développement original de méthodes énergético-économiques puissantes.**