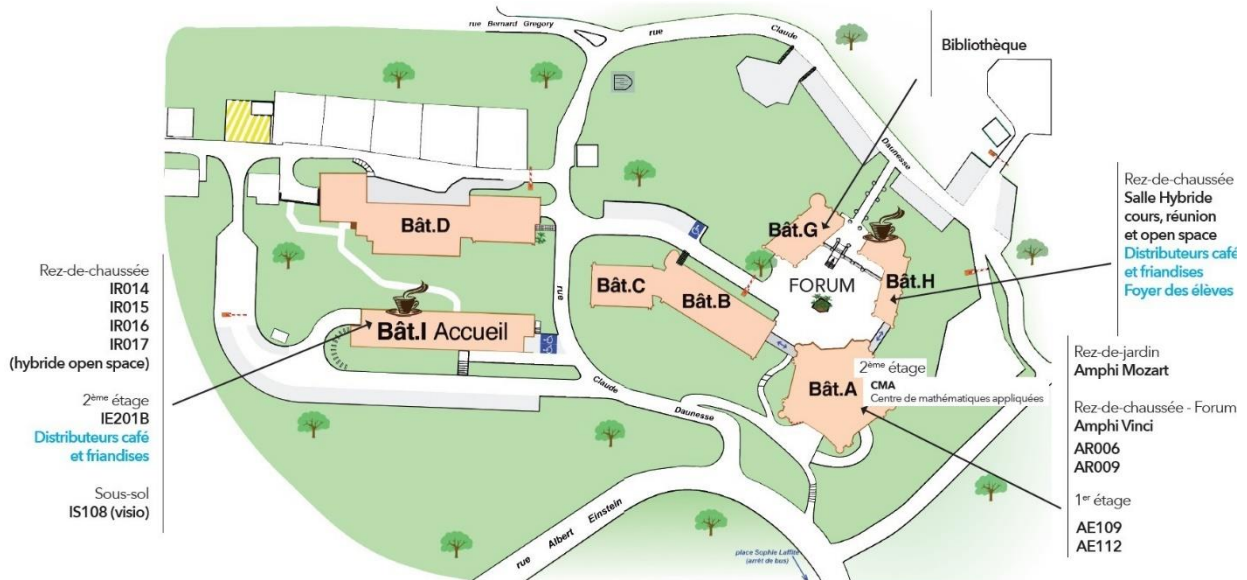


# Planning des journées du Mastère Spécialisé® en Optimisation des Systèmes Energétiques

PROMOTION 2022



Campus Pierre LAFFITTE



Programme prévisionnel Congrès OSE

PROGRAMME du CONGRÈS OSE le 26/09/2023			
<p>En présentiel : 1, rue Claude Daunesse 06904 Sophia Antipolis                      A distance : Lien Youtube : <a href="https://www.youtube.com/@masterespecialiseose8737">https://www.youtube.com/@masterespecialiseose8737</a>                      Inscriptions et renseignements : <a href="https://event.mastereose.fr/">https://event.mastereose.fr/</a></p>			
HORAIRES	TITRE	SUJET	INTERVENANTS
<b>Partie 1 : Le nucléaire dans les systèmes électriques de demain</b>			
8:00 08:30		<i>Accueil &amp; Café</i>	
8:30 8:35		INTRODUCTION	Etudiants du mastère OSE
8:35 9:05	<b>PRESENTATION 1</b>	Grandes tendances du nucléaire. Panorama mondial. Contexte géopolitique	Sylvain Vitet (EDF)
9:05 9:15	<i>QUESTIONS</i>		
9:15 9:40	<b>PRESENTATION 2</b>	Futurs Energétiques 2050	Simona De Lauretis (RTE)
9:40 9:50	<i>QUESTIONS</i>		
9:50 10:30	<b>TABLE RONDE 1</b>	Les nucléaires dans les systèmes énergétiques de demain	1. Valérie Faudon (SFEN) 2. Arthur Lynch (CEA) 3. Jean-Luc Alexandre (Naarea) 4. Michel Derdevet (Confront. Europe)
10:30 10:40	<i>QUESTIONS</i>		
10:40 10:50	<i>Pause</i>		
<b>Partie 2 : Défis sociétaux du potentiel re-développement nucléaire</b>			
10:50 10:55		INTRODUCTION	Etudiants du mastère OSE
10:55 11:25	<b>PRESENTATION 3</b>	Financement de projets nucléaires	Valérie Faudon (SFEN)
11:25 11:35	<i>QUESTIONS</i>		
11:35 11:55	<b>PRESENTATION 4</b>	Programme MATCH & enjeux de qualité et sûreté dans un contexte de relance du nucléaire	GIFEN
11:55 12:05	<i>QUESTIONS</i>		
12:05 13:30	<b>BUFFET + STANDS ENTREPRISES</b>		
13:30 14:00	<b>ALLOCATION &amp; ÉCHANGES DÉPUTÉ</b>	Constats et conclusions du rapport d'enquête parlementaire - vision du député sur l'industrie nucléaire française	Antoine Armand (député)
14:00 14:10	<i>QUESTIONS</i>		
14:10 15:00	<b>TABLE RONDE 2</b>	Capacités et limites de l'industrie nucléaire française dans les prochaines décennies.	1. Emeric Lagogue (EDF) 2. Vincent Le Biez (DINN) 3. David Klein (SNEF Power Services) 4. Audrey Alimi (ONET)
15:00 15:10	<i>QUESTIONS</i>		
15:10 15:20	<i>Pause</i>		
15:20 15:40	<b>PRESENTATION 5</b>	La question des déchets : inventaire, solutions de gestion & impact du nouveau programme nucléaire	Virginie Wasselin (ANDRA)
15:40 15:50	<i>QUESTIONS</i>		
15:50 16:10	<b>INTRODUCTION TABLE RONDE 3</b>	Panorama de l'opinion publique sur le nucléaire	Didier Witkowski (EDF)
16:10 16:20	<i>QUESTIONS</i>		
16:20 17:10	<b>TABLE RONDE 3</b>	Discussions autour de l'acceptabilité du nucléaire. Visions d'élus locaux sur la question. Présence d'un sociologue et d'une journaliste pour aborder ces sujets.	1. Bertrand Ringot (Maire de Gravelines) 2. Jean-Claude Delalonde (ANCCLI) 3. Anne-Claire Poirier (Journaliste) 4. Jacques Lochard (ICRP)
17:10 17:20	<i>QUESTIONS</i>		
17:20 17:30		<b>CONCLUSION</b>	Etudiants du mastère OSE

Amphithéâtre Mozart – Bâtiment A (et Visio conférence)

8h30	<b>M. Nathan BLISCAUX</b> <i>Une analyse des prix de l'électricité</i>	<b>RTE</b>	<b>HUIS-CLOS</b>
9h15	<b>M. Paul FAYEL</b> <i>Evaluation des besoins de pilotage du réseau de gaz à l'échelle régionale à l'horizon 2050.</i>	<b>GRTgaz</b>	
10h00	<b>M. Yasser KANNAS</b> <i>Le développement d'un modèle de simulation et/ou d'optimisation pour la valorisation pluri-mécanismes de différents actifs flexibles</i>	<b>ENERGY POOL</b>	
10h45	<b>PAUSE</b>		
11h15	<b>Mme. Amélie COUSSON</b> <i>Véhicules électriques : Impact de l'ajout de bornes de recharges dans des micro-réseaux</i>	<b>GreenStruxure</b>	
12h00	<b>Mme. Ouarda BOUKYOUND</b> <i>Support au développement des contrats de performance énergétique au sein les filiales de l'entreprise.</i>	<b>Blue Pearl Energy</b>	
12h45	<b>DEJEUNER</b>		
13h45	<b>M. Anas BEN TAHER</b> <i>Étude des modèles d'affaires associant asset pilotables, stockage d'énergie et autoproduction photovoltaïque pour clients industriels et tertiaires..</i>	<b>EDF R&amp;D</b>	
14h30	<b>Mme. Caroline SCHROER</b> <i>Recherche et développement d'outils d'aide à la décision pour l'optimisation des coûts et des investissements énergétiques de sites clients</i>	<b>PARAGON MOBILITY</b>	
15h15	<b>PAUSE</b>		
15h45	<b>Mme. Soundous OUZAKRI</b> <i>La modélisation des transferts multi-énergies dans un outil EOD</i>	<b>RTE</b>	
16h30	<b>M. Nikolaos PAPASTEFANAKIS</b> <i>Modélisation prospective des systèmes énergétiques des territoires insulaires</i>	<b>CMA - Mines Paris -PSL</b>	
17h15	<b>M. Alexandre CASTANIÉ</b> <i>Développement d'outils de prévision de courbes de charge et de profils de consommation d'électricité</i>	<b>EKWATEUR</b>	<b>HUIS-CLOS</b>
18h00	<b>FIN DE LA PREMIERE JOURNEE</b>		



Amphithéâtre Mozart – Bâtiment A (et Visio conférence)

8h30	<b>M. Vadim RICHON</b>	<b>EFFICACITY</b>
	<i>Création et amélioration de modèles de systèmes énergétiques pour le logiciel de simulation dynamique à l'échelle quartier PowerDIS</i>	
9h15	<b>M. Alan JULIEN</b>	<b>T.S.E.</b>
	<i>Prévision de la production et optimisation du pilotage des centrales de TSE.</i>	
10h00	<b>M. Damien BOUVIER</b>	<b>RTE</b>
	<i>Dimensionnement et contractualisation européenne de réserves</i>	
10h45	<b>PAUSE</b>	
11h15	<b>M. Robinson BEAUCOUR</b>	<b>CEA</b>
	<i>Gestion opérationnelle à long terme d'une caverne de sel pour la production d'hydrogène vert destinée à l'industrie.</i>	
12h00	<b>Mme. Marie CODET</b>	<b>ORANO</b>
	<i>Chargée d'Innovation et de Prospective</i>	
12h45	<b>DEJEUNER</b>	
13h45	<b>M. Daniel René NKOUNCHOU</b>	<b>ENPHASE ENERGY</b>
	<i>Étude de la performance du programme d'optimisation de la gestion de l'énergie au sein de bâtiments résidentiels</i>	
14h30	<b>M. Valentin LASSAIGNE</b>	<b>ENPHASE ENERGY</b>
	<i>Étude d'impact de la gestion optimisée de l'énergie dans les bâtiments résidentiels</i>	
15h15	<b>PAUSE</b>	
15h45	<b>M. Rémi FALLON</b>	<b>EDF</b>
	<i>Études de stratégies énergétiques pour le développement des territoires</i>	
16h30	<b>M. Achraf AMRANI</b>	<b>ELOGEN</b>
	<i>Mise en place d'un modèle de jumeau numérique pour le procédé d'électrolyse PEM pour la production d'hydrogène vert</i>	
17h15	<b>M. Charles DESTOMBES</b>	<b>GRDF</b>
	<i>Amélioration de la prise en compte du besoin de chauffage dans les modèles prospectifs</i>	
18h00	<b>FIN DE LA DEUXIEME JOURNEE</b>	





**Nathan  
BLISCAUX**  
IPUniLaSalle

**RTE**

Tuteur : Simona DE LAURETIS  
*Une analyse des prix de l'électricité*

Suscitant aujourd'hui une attention particulière au regard de la récente actualité énergétique, les marchés de l'électricité font l'objet d'un grand nombre d'études. De multiples méthodes statistiques sont utilisées afin de comprendre et d'expliquer les niveaux et sursauts des prix tels les prix spot. Les études sur les niveaux des prix spot sont le plus souvent conduites à des fins de prévision. Pour autant, il existe un intérêt avéré pour des modèles rétrospectifs simulant l'équilibre entre l'offre et la demande du système électrique à un instant passé. Cet équilibre simulé aboutit à une valeur de prix marginal, pouvant être apparenté au prix spot sous réserve d'hypothèses de marché. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle a permis d'analyser des écarts de prix horaires entre les prix marginaux en sortie d'un logiciel interne à l'entreprise RTE et les prix spot réels. Des variables explicatives en sortie du logiciel interne Antares ont pu être retenues afin de mettre au point une démarche statistique sur les écarts de prix et de déboucher sur un possible modèle final. Ce modèle conserve une aptitude prédictive forte et peut également être interprété économiquement. De l'analyse ressort que les résultats obtenus sont plutôt proches de la réalité dans les périodes de prix stables. Des écarts significatifs restent fréquents et difficiles à prédire dans les périodes de tension et donc ardues à être expliqués a posteriori. Mots-clés : marchés de l'électricité, prix spot, écarts de prix, démarche statistique, interprétations économiques.



**Paul FAYEL**  
INSA Strasbourg

**GRTgaz**

Tuteur : Carole BARON, Jean-Damien LENOIR  
*Etude des besoins de pilotage du réseau de gaz à l'horizon 2050.*

Il est indispensable de décarboner le secteur énergétique, ainsi, GRTgaz travaille activement à accompagner le développement des gaz renouvelables en substitution du gaz naturel. Avec l'objectif français de neutralité carbone à l'horizon 2050, l'intégralité du gaz consommé en France devra être renouvelable. GRTgaz doit donc adapter la manière dont elle opère ses réseaux et passer d'une injection de gaz centralisée aux terminaux méthaniers et aux points frontières à une injection décentralisée sur l'intégralité du territoire. C'est pour étudier cette nouvelle configuration qu'une série d'études prospectives portant sur le pilotage du réseau de gaz en 2050 et particulièrement sur le réseau régional a été lancée par GRTgaz. Dans un premier temps, un travail de réflexion et de modification sur les hypothèses des études précédentes a été effectué. Nous avons décidé de nous appuyer sur 3 scénarios prospectifs d'évolution de la consommation et de la production de gaz. Ces scénarios ont été bâtis sur les variantes S1 et S3 de l'ADEME, et du scénario GR des Perspectives Gaz élaborées par les opérateurs de gaz. Pour ces scénarios, ont été retravaillés la répartition de la production du biométhane sur le territoire, ainsi que les profils de consommation de GNV. Les simulations sont réalisées sur le logiciel SIMONE, un outil quotidiennement utilisé au sein de GRTgaz. Les études ont été menées en Normandie dans un premier temps, puis sur le territoire centre atlantique, qui regroupe l'Ouest de la France, de la Bretagne à la Nouvelle-Aquitaine. Les résultats nous permettent de confirmer le rôle clef du réseau national à l'horizon 2050 et amènent une meilleure compréhension de la relation entre les réseaux régional et national. Les résultats nous donnent ainsi quelques un des futurs enjeux pour les gestionnaires de réseau. Un des exemples de questions soulevées par cette étude est l'interrogation sur la répartition du maintien en pression des réseaux. Mots-clés : réseau gazier, simulations, prospective, neutralité carbone.



**Yasser KANNAS**

ENSAM  
Casablanca

## **ENERGY POOL**

Tuteur : Romain SAINT-LEGER

*La valorisation multi-mécanismes et les stratégies des enchères.*

Dans le contexte d'augmentation rapide de la capacité installée des sources d'énergie renouvelable et de l'évolution dynamique des marchés de l'électricité, les producteurs d'énergie renouvelable (PER) et les responsables d'équilibre s'engagent activement dans une compétition sur le marché. Cependant, l'imprévisibilité inhérente à la production d'énergie renouvelable introduit un défi majeur, se traduisant par l'écart entre la vente sur les marchés de la prévision de production et la production réelle. Cela expose en effet les producteurs ou leurs responsables d'équilibre à la volatilité des prix de règlement des écarts, complexifiant ainsi leurs décisions d'enchères et diminuant leur avantage concurrentiel. Conscients de ces dynamiques complexes, il devient évident que le développement stratégique de tactiques d'enchères pour les PER revêt une importance primordiale. L'objectif de ces stratégies réside principalement dans l'objectif de dans l'augmentation des revenus et la réduction des risques. Cette étude présente une analyse de différents marchés de l'électricité (du marché Spot aux prix de règlement des écarts). Le but est de concevoir des stratégies d'enchères robustes, implémentables opérationnellement et maximisant les gains économiques. L'étude présente ensuite des analyses de sensibilité qui permettent d'évaluer l'adaptabilité des stratégies à différents scénarios. De plus, les aspects pratiques de la mise en œuvre sont pris en compte, incluant les complexités réglementaires et les considérations opérationnelles auxquelles Energy Pool fait face. Les stratégies proposées sont alors testées en simulation, et comparées avec des stratégies de référence, sur la base de données historiques. Ces simulations permettent de valider l'amélioration des revenus et d'évaluer les risques.



**Amélie COUSSON**

ENSAM

## **GreenStruxure**

Tuteur : Peter PFLAUM

*Véhicules électriques : Impact de l'ajout de bornes de recharges dans des micro-réseaux.*

L'émergence des véhicules électriques et des micro-réseaux est le fruit de plusieurs facteurs convergents dans le contexte contemporain. L'industrie automobile favorise désormais les véhicules électriques tandis qu'en parallèle, la transition énergétique a renforcé l'intérêt pour les micro-réseaux. En effet, ils permettent une distribution plus efficace et résiliente de l'électricité, notamment à partir de sources renouvelables. Ces deux tendances s'entrecroisent pour créer un avenir où les véhicules électriques et les micro-réseaux jouent un rôle clé dans la réduction de l'empreinte carbone et la modernisation de notre système énergétique. Ce contexte prometteur crée un terrain fertile pour la recherche et le développement visant à optimiser l'intégration de ces véhicules électriques au sein des micro-réseaux. Pour y parvenir de manière efficace, il est essentiel de disposer de prévisions précises concernant l'arrivée et le départ des véhicules, ainsi que de leurs besoins énergétiques. Dans le cadre de cette recherche, le travail a porté sur l'évaluation de l'impact de l'intégration de bornes de recharge lié aux batteries des véhicules électriques au sein des micro-réseaux déployés par l'entreprise. Un outil de simulation capable de générer le comportement d'une flotte de véhicules dans des sites spécifiques a été créé. Pour accroître la flexibilité des résultats, divers paramètres ont été ajustés, en considérant différents scénarios de fréquentation et de quantité de véhicules. Ce projet contribue ainsi à la compréhension des synergies potentielles entre les véhicules électriques et les micro-réseaux, en mettant l'accent sur la simulation comme moyen d'anticiper et de gérer efficacement les pics de charge générés par les véhicules électriques au sein de ces systèmes énergétiques décentralisés, ouvrant la voie à une utilisation plus intelligente et efficace de l'énergie électrique dans un contexte de mobilité électrique croissante. Mots-clés : véhicules électriques, pic de charge, courbe de charge, micro-réseau, puissance.



**Ouarda  
BOUKYOUD**

UIRabat

### Blue Pearl Energy

Tuteur : Sébastien UGONA

*Support au développement des contrats de performance énergétique au sein les filiales de l'entreprise.*

Le changement climatique et les crises énergétiques actuelles sont des défis majeurs du 21<sup>e</sup> siècle. En France, le secteur du bâtiment, représentant de 27% des émissions de CO<sub>2</sub> et de 45% de la consommation d'énergie finale. L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments joue un rôle fondamental dans la lutte contre les défis liés au changement climatique et la résolution des problèmes énergétiques. Cette approche permet d'atteindre des économies d'énergie en réduisant la consommation des bâtiments. Dans le cadre de ma mission chez équipe technique de Blue Pearl Energy, Mon rôle principal consiste à contribuer au développement de projets liés aux certificats d'économie d'énergie ainsi qu'aux contrats de performance énergétique. L'objectif principal de ces initiatives est d'assister les clients dans la réduction de leur consommation énergétique tout en minimisant les coûts d'investissement associés. Pour atteindre les objectifs de la première mission, un outil numérique qui permet d'évaluer avec précision les économies d'énergie générées par chaque projet spécifique a mis au point. Deuxième mission, consiste a analysé le Protocole International de Mesure et Vérification de Performance (IPMVP) afin de fournir des orientations éclairées pour prendre des décisions optimales de l'approche de calcul à adopter pour chaque projet. Dans le cadre des CPE Travaux des audits énergétiques sont effectués afin de générer la situation de référence de la consommation du bâtiment.



**Anas BEN  
TAHER**

EPTunisie

### EDF R&D

Tuteur : Cédric BROUSSILLOU

*Etude des modèles d'affaires associant asset pilotables, stockage d'énergie et autoproduction photovoltaïque pour clients industriels et tertiaires.*

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) issues des combustibles fossiles suscitent de vives inquiétudes en raison de leur impact sur le climat. Elles peuvent entraîner des conséquences graves telles que des événements météorologiques extrêmes, la montée du niveau de la mer et la diminution des ressources en eau douce. Réduire ces émissions est une nécessité urgente pour lutter contre le réchauffement climatique, d'où l'importance d'intégrer les technologies et les énergies vertes. Dans ce contexte, nous avons étudié l'utilisation des énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire photovoltaïque (PV), associée au stockage par batterie (BESS), comme solution pour le secteur commercial et industriel (C&I). En utilisant la programmation linéaire mixte en nombres entiers (MILP), nous avons optimisé ces systèmes en prenant en compte les contraintes technico-opérationnelles et l'incertitude de production photovoltaïque. Notre modèle est alimenté par des données réelles, suivies d'un cadre d'optimisation visant à maximiser les avantages économiques. Nous avons également réalisé une analyse de sensibilité pour évaluer la robustesse du système. En résumé, cette étude MILP fournit des informations cruciales sur la viabilité économique de l'intégration du PV et du BESS dans le secteur C&I. Elle met en avant les économies potentielles, une meilleure gestion de l'énergie et des opportunités de revenus, contribuant ainsi à rendre le paysage énergétique plus durable et économiquement attractif.



**Caroline SCHROER**

UTT

**PARAGON MOBILITY**

Tuteur : Jean LEMAIRE

*Recherche et développement d'outils d'aide à la décision pour l'optimisation des coûts et des investissements énergétiques de sites clients*

Afin de faire face à de nombreux défis climatiques et environnementaux voués à s'accroître dans les prochaines années, la transformation de nos transports est une nécessité. Paragon Mobility a pour ambition de participer à cette transformation grâce au déploiement rapide, facile et à grande échelle d'une nouvelle génération d'infrastructures de distribution d'énergie, tout en évitant d'artificialiser de nouvelles terres. C'est dans cette perspective que l'entreprise se positionne dans le secteur des infrastructures durables multi-énergies, multi-services, alliant la gestion et l'optimisation énergétique. Ma mission industrielle a été de travailler sur la recherche et la création d'outils d'aide à la décision visant à améliorer l'efficacité des investissements et la gestion des dépenses énergétiques des clients de Paragon Mobility. En effet, l'outil d'aide à la décision, conçu pour soutenir les décideurs dans l'analyse et la valorisation des données liées à leur entreprise, se révèle être un précieux atout stratégique. Dans un premier temps, j'ai particulièrement travaillé sur la tarification électrique et les axes d'optimisation d'une facture électrique. J'ai ainsi pu mettre en lumière l'importance de souscrire à un contrat de fourniture électrique en adéquation avec son profil de consommation. Je me suis de plus intéressée à la valorisation possible des batteries de stockage à travers ma participation à un projet simulant différents cas d'usage. Enfin, j'ai eu l'occasion de contribuer à une étude de surfaces solarisables pour un client possédant un portefeuille de projets.



**Soundous OUZAKRI**

ENSMN

**RTE**

Tuteur : Paul PLESSIEZ

*Modélisation des transferts multi-énergétiques dans un outil EOD*

Jusqu'à présent, les investissements dans les infrastructures d'un secteur particulier sont évalués uniquement au sein du périmètre du secteur concerné sans prendre en compte ses interactions avec les autres secteurs. Cependant, dans l'optique de développer les synergies et le couplage entre les secteurs énergétiques, l'approche de l'évaluation de la « Social Economic Welfare – SEW » dans un secteur spécifique n'est plus valable à cause de plusieurs facteurs. Premièrement, une codépendance robuste s'instaure de plus en plus entre les projets énergétiques due au couplage entre les différents secteurs énergétiques. Deuxièmement, la formation des prix de l'électricité dans un mix électrique avec une forte part de l'énergie renouvelable dépend principalement du couplage sectoriel. Par conséquent, l'évaluation de la SEW sur l'ensemble des secteurs couplés est recommandée pour un système énergétique avec une forte synergie entre ces différents secteurs. La SEW peut alors être décomposée en plusieurs rentes positives : rente de production, de consommation, de flexibilité, de congestion et rente de cross-sector. Cette décomposition est importante pour la réalisation des études d'évaluation socioéconomique des investissements du couplage sectoriel. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle a permis de développer un outil informatique qui permet de mettre en place cette méthode de décomposition de la SEW en se utilisant les sorties des simulations du logiciel Antares Simulator. Cet outil sera appliqué sur les systèmes qui couplent entre le secteur électrique et du secteur hydrogène. Cet Outil permet de calculer la SEW obtenue après un investissement dans des électrolyseurs et de quantifier l'impact de cet investissement sur les rentes des différents acteurs du marché.





**Nikolaos  
PAPASTEFANAKIS**

Univ. Patras

## CMA - Mines Paris -PSL

Tuteur : Sandrine SELOSSE

*Modélisation prospective des systèmes énergétiques insulaires :  
quelles transformations à long terme pour répondre aux enjeux  
énergie-climat*

La transition énergétique des territoires insulaires dépend fortement de leur situation démographique, politique, économique et environnementale. Trois thématiques principales ont été étudiées pendant cette mission professionnelle : 1) Flexibilité et digitalisation des réseaux électriques, dépendance et sécurité énergétique des territoires. La décarbonation de trois îles européennes (Evia, Hinnøya et Procida) a été étudiée. Dans le cadre du projet européen GIFT (Geographical Islands Flexibility), une analyse basée sur la modélisation prospective a été réalisée pour développer des scénarios intégrant des solutions innovantes de stockage en cas d'intégration importante d'énergies renouvelables intermittentes. 2) Politiques d'aménagement du territoire pour concilier l'autonomisation électrique et alimentaire en présence de conflits d'usage des sols. L'île de La Réunion vise à atteindre d'ambitieux objectifs d'un point de vue énergétique et alimentaire. Ainsi au-delà des contraintes techniques pour quelques technologies comme les éoliennes offshore et la géothermie, les contraintes foncières seront déterminantes pour l'évolution à long terme de son mix électrique. L'objectif de cette étude était d'analyser comment optimiser l'autonomie électrique et alimentaire de l'île pour répondre à ses objectifs. 3) Impératifs du changement climatique pour renforcer la résilience des systèmes énergétiques vulnérables. La République de Maurice est un petit état insulaire en développement. Vulnérabilité et sécurité énergétiques posent des défis pour son développement durable, sans oublier la préservation des régions protégées et les conflits d'utilisation des sols qui sont des contraintes supplémentaires. L'objectif de cette étude est donc d'étudier les politiques énergétiques visant au développement durable et à l'atténuation des émissions de GES.



**Alexandre  
CASTANIÉ**

ENSAM

## EKWATEUR

Tuteur : Jean-victor ECK

*Développement d'outils de prévision de courbes de charge et de  
profils de consommation d'électricité*

Afin de correctement s'approvisionner, un fournisseur d'énergie doit procéder à une estimation de la consommation future de son portefeuille de clients. Il s'agit d'un enjeu crucial : sans une prévision adéquate, aucun achat ne peut être réalisé correctement. Ma mission a principalement porté sur ce sujet. Un outil de prévision d'une série temporelle, au pas demi-horaire sur plusieurs années, a été développé. Cet outil est majoritairement utilisé par l'équipe sourcing sur des courbes de charge télé relevées par Enedis grâce au compteur Linky. Il est employé pour la prévision de consommation opérationnelle d'Ekwater, qu'il s'agisse des processus récurrents ou de consultations ponctuelles pour des clients B2B. L'outil de prévision a été conçu comme une solution de transition vers des modèles plus précis et repose sur un concept simple de réplique du passé. Cet outil est comparé à des modèles de Machine Learning comme Xgboost, un réseau de neurone ou d'autres modèles plus élaborés d'assemblage. En plus de produire un outil opérationnel aux résultats convaincants dont les forces et les faiblesses ont été étudiées en profondeur, le travail aura permis d'éclairer un certain nombre de points : la difficulté du travail de prévision d'une consommation électrique, les problèmes de données liés aux courbes de charge et à certains processus internes ou encore la nécessité d'avoir une sensibilité accrue sur la qualité des données exploitées. Le développement d'un autre outil basé sur du Machine Learning a été initié pour la prévision de coefficients dynamiques de certains profils. Un profil est la représentation du comportement moyen d'un groupe de consommateurs d'électricité au cours du temps. Les coefficients « dynamiques », à la différence de leurs homologues « statiques », sont un moyen de calculer les profils grâce à la mesure directe d'un panel de consommateurs instrumentés pour connaître leurs courbes de charge. Leur prévision permet d'estimer la consommation future des clients qui n'ont pas encore basculé en courbe de charge.



**Vadim RICHON**

ECL

## EFFICACITY

Tuteur : Baptiste FRANCOIS, Eric PEIRANO

*Création et amélioration de modèles de systèmes énergétiques pour le logiciel de simulation dynamique à l'échelle quartier PowerDIS*

La ville est responsable d'environ 70 % des émissions de gaz à effet de serre dans le monde. Une réduction de la quasi-totalité de ces émissions est réalisable d'ici 2050, par la combinaison de plusieurs leviers : efficacité énergétique, décarbonation et remplacement des vecteurs énergétiques, sobriété, etc. Cette transition énergétique de la ville fait intervenir différents acteurs dont notamment les collectivités, aménageurs, promoteurs et énergéticiens (bureaux d'études, concessionnaires de réseaux, etc.). Bien qu'il existe de nombreux outils de modélisation et simulation des flux énergétiques à l'échelle du bâtiment, l'échelle du quartier et de la ville est insuffisamment éclairée par ces outils d'aide à la décision dont peuvent bénéficier les acteurs de la ville. Une des missions d'Efficacity est ainsi de développer une suite de logiciels intervenant en phase de conception pour guider les choix énergétiques dans le cadre de projets d'aménagement (construction et/ou rénovation) de zones urbaines. Le travail réalisé au cours de cette mission professionnelle a porté sur les modèles physiques intégrés dans le logiciel PowerDIS. Cela a consisté d'une part à améliorer les modèles de pompe à chaleur électrique et de chaudière, à l'échelle du bâtiment et/ou d'un site de production alimentant un réseau thermique urbain. D'autre part, un modèle de PAC hybride (PAC électrique + chaudière) a été créé avec ses règles de dimensionnement et de régulation. Ces modèles ont été codés en Python et intégrés dans le moteur de calcul de PowerDIS codéveloppé par Efficacity et le CSTB. L'amélioration des modèles de PAC et de chaudière ont permis de gagner en précision sur la consommation d'énergie ainsi que sur les pics de puissance et donc sur le dimensionnement des systèmes. La dynamique infra-journalière a également été améliorée, offrant ainsi une meilleure compréhension de leurs comportements. Le modèle de PAC hybride permettra de confronter PowerDIS à un cas d'usage faisant intervenir ce type de système afin d'en mesurer la fiabilité.



**Alan JULIEN**

UTLN

## T.S.E.

Tuteur : Thibaut BARBIER

*Prévision de la production et optimisation du pilotage des centrales de TSE*

TSE développe pour l'agrivoltaïsme la canopée agricole, une centrale solaire suspendue par des câbles au-dessus de cultures. La tension des câbles et la géométrie de la structure sont tels que les hauteurs des panneaux varient géographiquement différemment par comparaison aux centrales au sol. De ce fait, pour les canopées agricoles, la gestion de l'ombrage par les algorithmes de backtracking prévus pour les centrales au sol n'est pas optimale. Dans un premier temps, un modèle en géométrie bidimensionnelle a permis de poser les bases de la quantification des séries temporelles d'ombrage table-table. La prise en compte, d'une part, des données topographiques et de câblage électrique de la canopée agricole et d'autre part des données issues de modèles de décomposition angulaire du rayonnement solaire a permis l'estimation de l'irradiation globale inclinée efficace reçue par les tables de la canopée agricole. Cette modélisation complexe a été validée par comparaison aux courbes de production de la canopée agricole d'Amance. Dans un second temps, une recherche des paramètres optimaux de backtracking prenant en compte les contraintes fournisseur sur les angles de tracking a été effectuée à l'aide de deux méthodes. La « force brute » a consisté à essayer l'ensemble des combinaisons possibles tandis que la méthode de Metropolis-Hastings reproduit, sur une fonction sans expression analytique, la descente de gradient grâce à des essais-erreurs aléatoires. Les paramètres optimaux identifiés ont été appliqués sur une partie de la canopée agricole d'Amance et leur performance statistiquement évaluée.



**Damien BOUVIER**

INSA Lyon

**RTE**

Tuteur : Nathalie GRISEY

*Dimensionnement et contractualisation européenne de réserves*

RTE, le Gestionnaire du Réseau de Transport (GRT), a pour mission de permettre la meilleure adéquation possible entre la production et la consommation en temps réel. Pour cela, des capacités spécifiques, appelées réserves, sont utilisées par RTE et les autres GRT. RTE doit disposer, notamment via la contractualisation, des réserves nécessaires, préalablement déterminées via un calcul appelé le « dimensionnement ». Or, avec le développement massif des énergies renouvelables en France et en Europe, une augmentation du volume global de réserves nécessaires, et donc du coût de contractualisation, est à prévoir. Des optimisations sont pourtant envisageables. Une réduction du dimensionnement des réserves est possible en tirant parti des interconnexions permettant des échanges d'énergie entre pays. Une diminution des coûts de contractualisation des capacités nécessaires est quant à elle possible via la mise en place d'un marché commun pour les réserves. L'usage de ces deux pratiques est nommé « partage de réserves ». Le travail de cette thèse professionnelle s'intéresse aux gains économiques possibles qu'une telle coopération transfrontalière sur un type spécifique de réserves, la réserve secondaire, pourrait engendrer. Un modèle d'optimisation stochastique a été développé et implémenté en Python afin de simuler simultanément le dimensionnement et la contractualisation de la réserve secondaire sur un ensemble de cinq pays, dont la France. Diverses analyses ont été menées, d'une part pour étudier l'impact de l'allocation des capacités transfrontalières aux réserves (plutôt qu'aux autres marchés, comme le SPOT) et d'autre part pour étudier les manières de limiter la réduction du dimensionnement due au partage, dans un souci de maintien d'une certaine souveraineté des pays sur leurs réserves.



**Robinson BEAUCOUR**

Centrale Supélec

**CEA**

Tuteurs : Nicolas LAMAISON, Cédric PAULUS

*Gestion opérationnelle à long terme d'une caverne de sel pour la production d'hydrogène vert destinée à l'industrie*

L'hydrogène et ses dérivés sont de plus en plus importants pour réduire les émissions de carbone dans des secteurs avec peu d'alternatives, tels que l'industrie lourde, la navigation, l'aviation et le transport lourd. Bien que l'hydrogène bas-carbone représente actuellement une petite fraction de la production, on prévoit qu'il jouera un rôle significatif dans les applications traditionnelles et dans de nouveaux secteurs tels que les transports et le chauffage. De plus, l'hydrogène peut être converti en ammoniac, principalement utilisé pour les engrais, mais ayant un potentiel d'applications plus étendu dans les transports. Pour soutenir la production d'ammoniac bas-carbone, il est préférable d'utiliser de grands systèmes pour réduire les coûts. Pour ceux-ci, la gestion avancée de l'intermittence des énergies renouvelables est essentielle. Le présent travail explore le développement d'une Energy Management System (EMS) pour une plateforme industrielle de production d'ammoniac bas-carbone. La plateforme de production est connectée au réseau électrique et est composée d'environ 1,5 GW d'unités de production d'énergies renouvelables, c'est-à-dire photovoltaïques et éoliennes, environ 500 MW d'électrolyseurs, de batteries électriques et d'installations de stockage d'hydrogène, comprenant une cavité saline et un réseau d'hydrogène. Cette plateforme, en plus d'une usine de SMR (steam-methane reforming), doit fournir un flux relativement constant de 45 tonnes/heure à une usine d'ammoniac. La gestion d'une telle plateforme doit être agile et adaptable aux variations des prévisions de production d'énergie renouvelable. Par conséquent, l'EMS doit être capable de proposer rapidement une planification. De plus, la gestion à long terme de la caverne de sel par rapport à l'intermittence à long terme des énergies renouvelables est décisive, en particulier pour satisfaire aux critères de teneur en carbone de l'hydrogène produit. Des approches méthodologiques, y compris le pré-calcul des fonctions de coût, ont été proposées et comparées pour équilibrer la nécessité de temps de calcul rapides avec une vision à long terme précise et une contrainte sur l'intensité carbonique. Ce travail a mis en évidence une amélioration de 5% de la performance économique grâce aux nouvelles méthodes d'optimisation de l'EMS proposées. Cette amélioration se traduit par une économie annuelle de 4 millions de dollars dans les coûts opérationnels de la plateforme.



**Marie CODET**

GEM

**ORANO**

Tuteur : Ana-paula SEROND

*Chargée d'Innovation et de Prospective*

Jusqu'à récemment, la filière nucléaire souffrait d'une mauvaise image et d'un manque d'investissements. Le contexte national poussait alors vers une fermeture progressive des centrales vieillissantes et à une réduction de la part du nucléaire dans le mix énergétique français. De ce fait, Orano a cherché de nouvelles voies de croissance pour assurer sa subsistance à long terme. Cela se traduit notamment dans son engagement dans la démarche prospective. Ainsi, cette mission a consisté à appuyer les expéditions prospectives, et apporter de nouveaux outils. En l'occurrence, à l'aide du modèle TIAM-FR et de recherches bibliographiques, une étude prospective intitulée « Développement de la filière méthane de synthèse en Europe à l'horizon 2050 » a été conduite. Face à la crise énergétique et particulièrement gazière, les gaz renouvelables connaissent un intérêt croissant. Orano a choisi de cibler le méthane de synthèse, qui peut être produit par méthanation catalytique à partir d'hydrogène et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). En effet, la direction Innovation étudie les procédés catalytiques et les sujets relatifs au CO<sub>2</sub>, dans le cadre de la stratégie de diversification des activités. TIAM-FR, fondé sur l'optimisation linéaire, a permis de développer des scénarios de déploiement des technologies de production des gaz renouvelables, de minimiser le coût total actualisé du système et d'analyser les variables ayant le plus d'incidence sur ce dernier.



**Daniel René  
NKOUNCHOU**

ESIGELEC

**GREENCOM NETWORKS**

Tuteur : Florian MARCHAT

*Étude comparative de différentes méthodes d'optimisation de la gestion énergétique des bâtiments résidentiels*

La gestion de l'énergie au sein des foyers est un domaine en expansion du fait des variations des prix de l'énergie et de la nécessité d'une exploitation aussi sobre que possible de l'énergie verte. La solution proposée par Enphase Energy vient répondre à cette préoccupation en intégrant un système de gestion de l'énergie à des foyers disposant de panneaux solaires, batteries et accessoirement chargeur de véhicules électriques ou encore pompes à chaleurs pilotables. La responsabilité qui était mienne au cours de cette mission professionnelle était d'évaluer de manière précise et quantitative la performance de ce programme sur des critères tels que la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, les bénéfices liés à la revente de l'énergie sur le réseau, l'indépendance énergétique et l'autoconsommation, la résolution des données, l'horizon d'optimisation. Ce travail nous a conduit à la conception d'un simulateur permettant d'observer l'impact de différentes méthodes de gestion de l'énergie ainsi que différentes configurations en matière d'équipement, et les calculs d'indicateurs de performance selon les critères mentionnés ci-dessus. Il débouchait alors sur une démonstration exhaustive de la pertinence de l'algorithme actuellement intégré à la solution Enphase ainsi qu'une meilleure compréhension de son importance dans le contexte global de la transition énergétique et de la gestion rationnelle des ressources. Mots-clés : Optimisation, performance, résidentiel, simulateur, critères.



**Valentin  
LASSAIGNE**

UTT

**GREENCOM NETWORKS**

Tuteur : Samuel PETIJEAN

*Etude d'impact de la gestion optimisée de l'énergie dans les bâtiments résidentiels*

La baisse des coûts des installations photovoltaïques combinée aux incitations des États pour la production domestique d'énergie renouvelable ont mené à la croissance des investissements des particuliers dans les systèmes photovoltaïques pour leur résidence. Avec ceux-ci, les systèmes de gestion d'énergie se sont également déployés afin d'optimiser le comportement des équipements et ainsi répondre à un objectif donné, par exemple, minimiser la facture d'électricité. En théorie, ces systèmes sont gagnant à la fois pour le consommateur et pour l'environnement. En effet, le consommateur économise de l'argent en soutirant le moins possible l'électricité du réseau quand le prix est le plus cher (pendant les pics de consommation). Généralement, les prix plus élevés traduisent aussi une électricité plus carbonée, car le gestionnaire de réseau doit souvent faire appel à des centrales de production fossile, avec un prix du combustible plus élevé, pour satisfaire la demande. Cependant, pour mettre en place ce genre de solution il faut fabriquer les appareils permettant de produire et stocker l'énergie (ex : panneaux solaires, batteries...), et ceux permettant la collecte, le stockage et le traitement des données nécessaires au bon fonctionnement du système (ex : passerelle de communication et serveurs informatiques). Il faut également prendre en compte l'impact environnemental du système sur tout son cycle de vie si nous voulons l'analyser. L'étude vise à donner une première estimation de l'impact sur le réchauffement climatique de ces outils en comptabilisant les émissions de gaz à effet de serre (GES) sur toute la durée de vie du système. Nous en déduisons les émissions de GES que doivent permettre d'éviter les solutions d'optimisation pour être pertinente.



**Rémi FALLON**

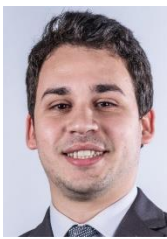
ECN

**EDF**

Tuteur : Alix GARELLI

*Études de stratégies énergétiques pour le développement des territoires*

Face au changement climatique et pour répondre aux enjeux qu'il sous-tend, la France se dote d'un cadre réglementaire et d'objectifs chiffrés – Stratégie Nationale Bas Carbone, Programmation Pluriannuelle de l'Énergie, Plan National d'Adaptation au Changement Climatique. Cette politique se traduit également à l'échelle des territoires, par exemple au travers des Schémas Régionaux d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires. Par le biais de ses Directions d'Action Régionale (DAR), EDF accompagne les collectivités et les territoires dans leur stratégies de développement énergétique et de transition bas carbone. La Direction Développement des Territoires (DirDev) appuie les antennes régionales d'EDF dans leurs démarches, en particulier au travers d'études qu'elle réalise à leur demande. Début avril 2023, la DirDev a été sollicitée par la DAR Pays de la Loire pour établir un diagnostic et proposer une vision prospective à 2050 des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre de la région. Dans ce contexte, j'ai mené le travail sur le secteur résidentiel et participé à la consolidation de l'outil conçu pour cela. J'ai également développé un outil permettant de dessiner des scénarios prospectifs à 2050 sur le secteur tertiaire. Mots-clés : transition bas carbone, prospective, résidentiel, tertiaire, territoires



**Achraf AMRANI**

EMI

**ELOGEN**

Tuteurs : Baptiste CALMETTE, Lucas CASTALDI

*Mise en place d'un modèle de jumeau numérique pour le procédé d'électrolyse PEM pour la production d'hydrogène vert*

Au cours de la dernière décennie, la révolution numérique a eu un impact généralisé sur divers secteurs, et elle a exercé une influence particulièrement marquée sur le secteur énergétique. Cette influence s'est manifestée par l'introduction de systèmes d'information tels que les ERP (Enterprise Resource Planning), les EMS (Energy Management System) et les Jumeaux Numériques, créant ainsi un avantage compétitif pour les entreprises qui ont embrassé ces avancées pour assurer leur pérennité et leur succès futur. En tant que précurseur dans l'adoption des technologies numériques, Elogen a apporté une valeur considérable au développement de son procédé de production d'hydrogène par la technologie Membrane Échangeuse de Protons (PEM) en créant un jumeau numérique de ce procédé. Cet outil informatique, conçu à l'aide de Matlab et Simulink, représente de manière virtuelle et en temps réel le fonctionnement du procédé réel. Il intègre des données en temps réel, des modèles mathématiques, des simulations et des analyses pour offrir une représentation précise et dynamique du comportement de la machine réelle. Ainsi, il contribue à une meilleure compréhension, surveillance, optimisation et gestion du procédé, facilitant ainsi la prise de décision éclairée et la gestion proactive. Cependant, le jumeau numérique élaboré chez Elogen présentait des écarts de résultats non conformes au comportement réel, et dont ma mission professionnelle naissait. Le cœur du travail effectué durant cette mission a permis de relever les erreurs de conception du jumeau et la validation de modèles analytiques décrivant le fonctionnement du procédé. Ces modèles devaient être vérifiées en les comparant au comportement de la machine réelle. Parallèlement à ces tâches, des calculs visant à améliorer le procédé d'Elogen ont été menées. Mots-clés : Hydrogène, membrane échangeuse de protons, Jumeau numérique.



**Charles DESTOMBES**

IG2I

**GRDF**

Tuteurs : Alexis MASSE, Antoine MONNET

*Amélioration de la prise en compte du besoin de chauffage dans les modèles prospectifs*

L'Équipe Prospective de la Direction Stratégie de GRDF a pour mission de produire des études prospectives à long terme sur la production et la consommation de gaz en France. Pour cela, elle utilise des modèles prospectifs qui sont en constante amélioration. C'est le cas du modèle résidentiel qui prévoit des tendances de consommation énergétique du parc immobilier résidentiel et sur lequel a porté ce projet. Le travail effectué au cours de cette alternance a apporté deux améliorations majeures à ce modèle. D'une part il a mis à jour et amélioré les données d'entrée du modèle résidentiel, notamment en quantifiant les besoins de chauffage en fonction de l'isolation des bâtiments et des spécificités climatiques régionales. D'autre part, ce travail a permis la prise en compte de l'impact du changement climatique (hausse des températures) sur l'évolution de ces besoins de chauffage. Sur ce point, la démarche mise en œuvre a été de quantifier les hausses de température, d'en déterminer l'impact sur le besoin énergétique et de l'implémenter dans le modèle. En s'appuyant sur les données météo fournies par le DRIAS, des degrés jour unifiés (DJU, référence pour quantifier le besoin de chauffage) ont été calculés pour les scénarios du GIEC RCP 2.6, 4.5 et 8.5. Puis, grâce aux valeurs historiques de consommation d'énergie pour le chauffage compilées par le CEREN et aux valeurs historiques de DJU, l'évolution du besoin de chauffage en fonction des hausses de températures a été définie. Une fois cet impact du changement climatique quantifié, le modèle a été mis à jour pour intégrer cette amélioration, et utilisé pour estimer l'impact du réchauffement sur les consommations de gaz dans plusieurs scénarios climatiques. Ce travail entre dans un cadre de l'amélioration continue des outils prospectifs. Il sera exploité lors des prochaines publications du rapport Perspective Gaz.