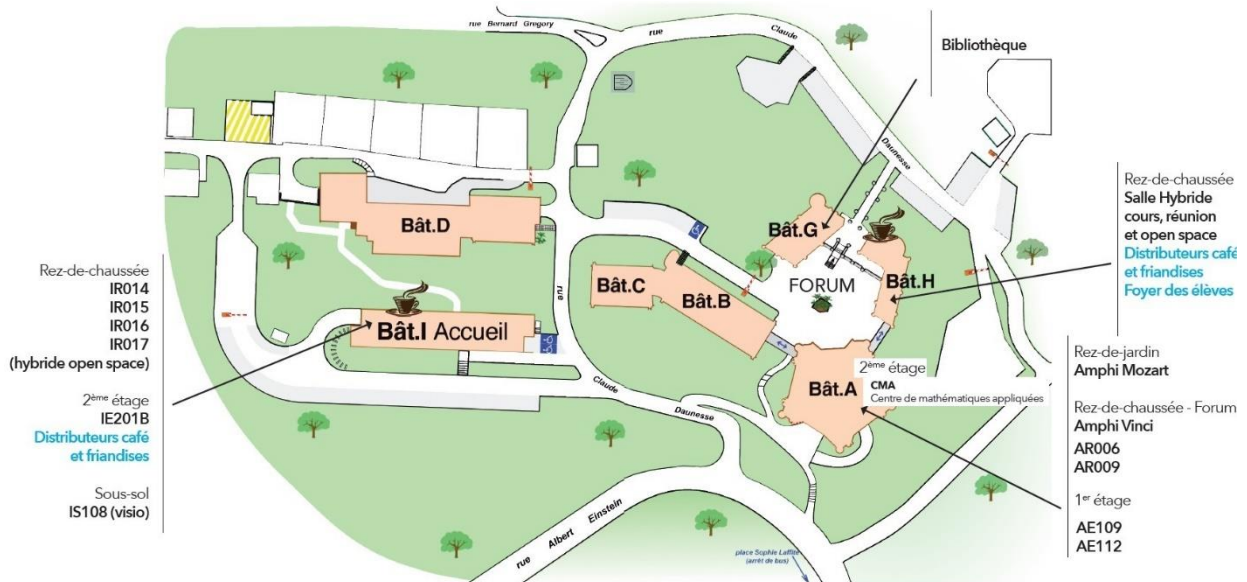


Planning des journées du Mastère Spécialisé® en Optimisation des Systèmes Energétiques

PROMOTION 2021



Campus Pierre LAFFITTE



Amphithéâtre Mozart – Bâtiment A (et Visio conférence)

8h30	Mademoiselle Simona MILADINOVA	ARTELIA	HUIS CLOS
	<i>Développement et amélioration des outils de modélisation et d'optimisation de dispatch d'un parc de production électrique</i>		
9h15	Monsieur Loïc PEAN	GRTGaz	
	<i>Evaluation des besoins de pilotage du réseau de gaz à l'échelle régionale à l'horizon 2050.</i>		
10h00	PAUSE		
10h30	Mademoiselle Amira BELAZOUGUI	SANOFI	
	<i>Empreinte carbone d'un produit pharmaceutique sous-traité et les émissions scope 1 et scope 2 des fournisseurs</i>		
11h15	Monsieur Bertrand DE CHIVRE	BANQUE DE FRANCE	
	<i>Décret Tertiaire : Analyse du parc immobilier, déclaration OPERAT, planification des actions futures</i>		
12h00	Monsieur Dimitri RACIMORA	IDEX	
	<i>Exploitation d'outils digitaux pour l'aide à la prospection commerciale</i>		
12h45	DEJEUNER		
13h45	Monsieur Seydou DIA	STORE & FORECAST	HUIS CLOS
	<i>Participation à l'élaboration d'un EMS pour actifs renouvelables décentralisés</i>		
14h30	Monsieur Alain TRAN	YEM Energy	
	<i>La gestion du risque lié aux marchés à terme dans les contrats d'énergie d'entreprise</i>		
15h15	PAUSE		
15h45	Monsieur Harold DOUE	ENGIE	
	<i>Chiffrage technico-économique des projets de décarbonation industriels</i>		
16h30	Monsieur Bilal HATEM	EDF	
	<i>Modélisation du système électrique Européen : Données et modèles publics</i>		
17h15	Monsieur Thibaut FEIX	IFPEN	
	<i>Evaluation de la consommation énergétique et de l'impact climatique de la production de matières premières</i>		
18h00	Monsieur Martin CARON	GRTGaz	HUIS CLOS
	<i>Modélisation prospective multi-énergies pour l'analyse des infrastructures de transport d'énergie à l'horizon 2050</i>		
18h45	FIN DE LA PREMIERE JOURNEE		



Amphithéâtre Mozart – Bâtiment A (et Visio conférence)

8h30	Monsieur Mohand saïd ABDAT	EDF	
	<i>Optimisation du dimensionnement des systèmes de stockage d'énergie par batterie appliqué aux sites Commerciaux tertiaire et Industriels (C&I)</i>		
9h15	Monsieur Milan RIBIERAS	CLAUGER	
	<i>Mesure et vérification de la performance, un levier d'optimisation énergétique en milieu industriel</i>		
10h00	PAUSE		
10h30	Monsieur Félix CONSIGNY	EDF	
	<i>Modélisation et analyse économique de centrales de production hybrides.</i>		
11h15	Monsieur Maxime GOTILLOT	ENEDIS	
	<i>Appui au management et mise en œuvre d'un chantier bas carbone à l'Agence Raccordement Marché des affaires d'Enedis Paris</i>		
12h00	Monsieur Axel RICHET	CMA	
	<i>Modélisation et optimisation de réseaux multi-fluides</i>		
12h45	DEJEUNER		
13h45	Monsieur Nathan GUILBAUD	INGEROP	
	<i>Chargé d'études en énergétique du bâtiment</i>		
14h30	Mademoiselle Aurore ROUX	U.R.B.S	
	<i>Rénovation énergétique : développement d'un indice composite pour cartographier le potentiel de rénovation énergétique des bâtiments résidentiels en monopropriété.</i>		
15h15	PAUSE		
15h45	Monsieur Joshua LEDUC	ENERGY POOL	
	<i>Développement et déploiement de solutions d'optimisation pour microgrids et centrales renouvelables hybrides</i>		
16h30	Monsieur Mohammed AIT LAHCEN	EDF	HUIS CLOS
	<i>Intégration de nouvelles flexibilités type batterie dans le modèle Apogène, et dans le portefeuille EDF</i>		
17h15	FIN DE LA DEUXIEME JOURNEE		

Programme prévisionnel Congrès OSE

PARTIE I. Vers une transition énergétique numérique et moderne (contexte, enjeux, consommation, prospective)		
Introduction du congrès	Élèves Mines Paris	9h
Agence Internationale de L'Énergie : Digitalisation et Energie	George KAMIYA	9h05
ADEME : Le numérique et l'énergie sous l'angle de la prospective à l'échelle de la France, un focus sur les datacenters.	Bruno LAFITTE	9h30
Schneider Electric : Les défis intriqués de l'énergie et de la digitalisation	Vincent MAZAURIC Ana DAVID	10h30
<i>PAUSE</i>		10h20
ENGIE Impact : Optimiser le monde d'aujourd'hui, décarboner le monde de demain	Thibault GENTIL	09h55
Table ronde 1 : Quels impacts / apports du numérique, comment les quantifier, quelles méthodes, quels modèles ? - Lean ICT Project ADEME ERICSSON	Bruno FOUCRAS Bruno LAFITTE Viktor ARVIDSSON	10h55
BUFFET		12h00
PARTIE II. Les technologies au service de la transition		
DATA4 GROUP Les défis pour les datacenters pour le climat et l'environnement	Olivier de NOMAZY	13h00
DEEPMI : Massifier l'efficacité énergétique grâce au numérique	Thimothée THIERY	13h25
ENEDIS : Traitement de données massives pour le réseau de distribution	Odilon FAIVRE	13h50
GRTgaz : Le numérique au service de la transformation des réseaux de gaz.	Carole BARON	14h15
<i>PAUSE</i>		14h40
Table ronde 2 : La Data et la gestion d'actifs renouvelables HUAWEI ENGIE DIGITAL PERSEE MINES PARIS	Côme GENDRON Paul PONCET Andrea MICHIORRI	14h55
PARTIE III. Opportunités, Risques et Conséquences		
IFPEN : Matériaux et métaux de la transition, leviers ou limites ?	Emmanuel HACHE	16h00
BPI France : Réflexion stratégique et prospective sur le numérique et la transition énergétique	Philippe MUTRICY	16h30
Conclusion du congrès	Élèves Mines Paris	17h00
Cocktail Dinatoire / Speed Dating / Networking		

Avec le soutien de :



Pour de plus amples renseignements et les inscriptions :

<https://event.mastereose.fr/>



Simona MILADINOVA
INSA Lyon

ARTELIA

Tuteurs : Adrian PORET, David CHOTARD

Développement et amélioration des outils de modélisation et d'optimisation de dispatch d'un parc de production électrique

HUIS CLOS

Nos sociétés font aujourd'hui face à de nombreux bouleversements d'ordres climatique et écologique. A chaque échelle territoriale nous retrouvons des organisations dont leur préoccupation est de répondre efficacement et durablement aux défis de la transition énergétique. Une des réponses possibles au besoin d'élaborer une stratégie globale se trouve dans la mise en œuvre d'une planification énergétique à long-terme conforme à une étude aval de l'équilibre offre demande du système électrique. Dans ce contexte Artelia accompagne l'ADEME afin d'apporter un éclairage sur les conditions de réalisation d'un mix électrique permettant l'autonomie énergétiques à l'horizon 2050 dans les 6 Zones Non Interconnectées (ZNI) de la France : Mayotte, la Réunion, la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane et la Corse. Ma mission professionnelle s'inscrit donc dans le cadre de ce projet d'étude prospective où le cœur de mes travaux a consisté à développer la modélisation de la consommation électrique intégrant la consommation des véhicules électriques du territoire étudié, faire évoluer les outils de modélisation des profils de production d'EnR (éolien, hydraulique, houlomoteur) et de mettre en place le processus de simulation d'équilibre offre-demande sous Antares.

Mots-clés : Énergies renouvelables, étude prospective, contraintes technico-économiques, modélisation, programmation, traitement de données, Antares



Loïc PEAN
ENSTA Bretagne

GRTGaz

Tutrice : Carole BARON

Evaluation des besoins de pilotage du réseau de gaz à l'échelle régionale à l'horizon 2050.

A l'horizon 2050, de nombreux scénarios prospectifs envisagent un secteur gazier totalement décarboné où les productions de gaz renouvelables sur le territoire national permettent de répondre aux besoins de consommations en gaz des consommateurs particuliers, professionnels et industriels français. Ces productions seront locales et éparpillées sur le territoire ; dès lors de nouveaux flux de gaz et besoins de pilotage du réseau sont à envisager. Ce document présente différents scénarios de production de gaz renouvelables et de consommation à l'échelle nationale à l'horizon 2050. Ces derniers sont appliqués en particulier à la Normandie, zone d'étude considérée. Des simulations numériques effectuées avec le logiciel SIMONE LIWACOM, outil de simulation des flux sur les réseaux, sur ce réseau régional montrent un déséquilibre saisonnier entre les consommations et les productions de gaz renouvelable. La zone est globalement importatrice de gaz renouvelable en hiver, période où les consommations sont encore les plus élevées en 2050. Le gaz importé serait stocké dans les stockages souterrains en été lorsque la région est globalement exportatrice de gaz dû aux faibles consommations. Le réseau principal de GRTgaz joue donc a priori encore un rôle important notamment en acheminant le gaz entre régions et stockages. Le réseau de transport peut également être piloté à plus faible pression et les débits dans les artères sont globalement bien plus faibles qu'aujourd'hui, ce qui permet de libérer des canalisations en vue de transporter de l'hydrogène. De plus faibles pressions engendrent également une baisse de besoin compression pour les producteurs de gaz renouvelable, une baisse d'émission de gaz à effet de serre et une baisse des coûts d'exploitation du réseau. La mise en place de compressions localisées permettant de remonter le gaz du réseau aval vers le réseau amont s'avère cependant indispensable pour assurer la continuité d'injection en gaz renouvelables sur certains bouts d'antenne.



Amira BELAZOUGUI

Centrale Supelec

SANOFI

Tutrice : Deguene LY

Empreinte carbone d'un produit pharmaceutique sous-traité et les émissions scope 1 et scope 2 des fournisseurs

De l'évolution des conditions météorologiques, qui ont des effets sur la production agricole et alimentaire, à l'élévation du niveau des mers, qui augmente les risques d'inondations, les conséquences sont mondiales en termes d'effets et d'échelle. À cet égard, le changement climatique, question déterminante de notre époque, constitue le nouveau type de risque à gérer pour les entreprises. Dans une démarche transparente, les industriels sont sollicités à déclarer les émissions liées à leurs activités afin de déterminer leur contribution à ce phénomène. Sanofi ainsi que la majorité des entreprises pharmaceutiques, ont leurs émissions concentrées sur le scope 3, plus précisément, sur les produits achetés. Cette catégorie est considérée la plus difficile à estimer. En effet, les données nécessaires pour le calcul, ne dépendent pas uniquement de l'entreprise mère mais, de toute institution faisant partie de la chaîne de valeur du produit. Ceci, rend le calcul de l'impact carbone incertain, et complexe à réduire. Le travail réalisé au cours de cette mission professionnelle, a permis d'introduire une nouvelle méthodologie de calcul des émissions liées à l'achat d'un médicament sous-traité. Cette dernière, étant plus précise, inclut, la consommation énergétique et le transport lié à la distribution, contrairement à la méthode actuelle utilisée au sein du groupe qui se base uniquement sur la matière première. Comme l'impact CO2 lié à l'énergie et le transport diffère respectivement d'une région à une autre et d'un moyen à un autre, des analyses de sensibilité ont été effectuées. Il en sort que l'énergie peut occuper de 10 à 36 % des émissions totales contre 1 à 7 % pour le transport. Ceci nous donne un ordre de grandeur sur la quantité d'émissions non prise en compte via la méthode actuelle.

Mots-clés : industrie pharmaceutique, empreinte carbone, émissions scope 3.



Bertrand DE CHIVRE

ENSTA

BANQUE DE FRANCE

Tutrice : Catherine SALLE

Décret Tertiaire : Analyse du parc immobilier, déclaration OPERAT, planification des actions futures

Le décret tertiaire, publié en 2019, impose des objectifs d'amélioration des performances énergétiques pour les bâtiments et ensembles de bâtiments dont la surface dédiée à des usages tertiaires dépasse les 1000 m². Propriétaires et locataires sont conjointement responsables de l'atteinte de ces objectifs qui deviendront de plus en plus exigeant avec le temps et dont l'atteinte sera évaluée à la fin des prochaines décennies, soit en 2030, en 2040, puis en 2050. La première échéance du 30 septembre 2022 concerne la déclaration, pour chaque acteur concerné, des bâtiments qu'il possède ou occupe qui sont assujettis à ce décret. Cette déclaration se fait sur la plateforme officielle OPERAT développée par l'ADEME. Doivent y être déclarés, pour chaque bâtiment, les éléments permettant de l'identifier ainsi que ses consommations énergétiques historiques. Par la suite, les consommations annuelles ainsi que les plans d'actions mis en place pour améliorer les performances énergétiques devront être déclarés et mis à jour dans cette même plateforme. La Banque de France, par ses activités de banque centrale mais aussi à travers l'activité de bailleur qu'elle exerce, est directement concernée par ce décret. Dès lors, il s'agit, au cours de cette mission professionnelle, d'identifier les éléments bâtimentaires assujettis ainsi que leurs objectifs. Il a fallu recenser d'une part leurs consommations historiques sur les dix dernières années afin de déterminer les années de référence, et d'autre part les éléments requis les caractérisant. Un second aspect de cette mission a concerné la rédaction d'un appel d'offre pour la réalisation d'audits énergétiques sur une sélection d'actifs immobiliers. Le bureau d'étude qui sera sélectionné proposera des plans d'actions à mettre en place pour atteindre les objectifs fixés par le décret tertiaire. La communication au sujet de ce projet et la sensibilisation des agents de la Banque de France est aussi un élément central de sa réussite qui a été abordé au cours de cette mission.



Dimitri RACIMORA

ECN

IDEX

Tuteur : Driss SALMI

Exploitation d'outils digitaux pour l'aide à la prospection commerciale

Le numérique est identifié comme l'un des vecteurs d'innovation pouvant aider à la transition énergétique. De nombreuses solutions numériques sont actuellement utilisées ou en cours de déploiement, que ce soit les technologies de smart grid pour la gestion de réseaux d'électricité ou de gaz, ou autres outils digitaux pour l'optimisation de la production ou la maintenance d'actifs énergétiques. Les outils digitaux peuvent également être déployés dans le cadre de la mise au point d'une stratégie commerciale s'appuyant sur des données géolocalisées. Dans le cadre de ma mission professionnelle, deux cas d'usage ont été identifiés : cartographier l'ensemble du parc bâtimentaire français ainsi que l'ensemble des sites industriels ICPE. Cette mission s'appuie sur l'utilisation d'une plateforme commerciale d'exploitation de données géolocalisées appelée ArcGIS, ainsi que sur différentes bases données open data (base de données CSTB du parc bâtimentaire français, base SIREN, etc...). Un dashboard de visualisation du parc bâtimentaire de l'Ile-de-France et Oise a été réalisé sur cette base. Une étude plus spécifique du potentiel de raccordement de bâtiments situés à moins de 100 mètres des réseaux de chaleur IDEX existants a également été réalisée. Enfin, un dashboard de visualisation du parc de sites industriels ICPE a été initié. Ces outils seront utilisés par les différentes équipes commerciales d'IDEX.



Seydou DIA

INSA Lyon

STORE & FORECAST

HUIS CLOS

Tuteurs : Noémie BOISSIER, Alexandre BALMONT

Participation à l'élaboration d'un EMS pour actifs renouvelables décentralisés

Le développement de système de stockage, et plus précisément des batteries lithium-ion, a permis aux énergies renouvelables de bénéficier d'une certaine flexibilité pour faire face à la variabilité de cette dernière. Le pilotage de cette énergie se fait à l'aide de systèmes informatiques complexes appelés EMS (Energy Management System), qui, à l'aide de prévision de production et de prix, fournissent des trajectoires en puissances sur un horizon d'optimisation et contrôlent en temps réel les flux d'énergies de chacun des équipements. L'Afrique du Sud est un pays dont le réseau électrique repose massivement sur les centrales à charbons. Pour répondre à la hausse de la demande électrique et à ses objectifs de décarbonation, un projet d'optimisation de Virtual Power Plant de deux centrales renouvelables espacées l'une de l'autre de 1000 km a été mis au point. Le profil agrégé de ces centrales doit répondre à un profil de production bien précis chaque jour de l'année. Cette mission professionnelle a consisté en la modélisation et l'implémentation d'un algorithme d'optimisation pour opérer la Virtual Power Plant. L'algorithme prend en compte les phases de déclaration de production disponible ainsi que de dispatch de chacun des actifs d'énergies. De plus, plusieurs stratégies auxiliaires ont été ajoutées au problème d'optimisation en fonction de l'aversion au risque de l'opérateur de la centrale. Plusieurs cas d'étude ont été développés en simulation pour valider le fonctionnement de la Virtual Power Plant, le respect des règles du gestionnaire de réseau, ainsi que différents scénarios de production renouvelables. Le logiciel développé sera amené à être porté sur le PC industriel qui sera déployé sur les sites de la Virtual Power Plant courant 2023.

Mots-clés : Virtual Power Plant, réseau électrique, optimisation, programmation linéaire en nombre entier, énergies renouvelables.



Alain TRAN

Univ Caen

YEM Energy

Tuteurs : Nicolas HENN, Louison ARNAULT

La gestion du risque lié aux marchés à terme dans les contrats d'énergie d'entreprise

La libéralisation du marché énergétique est née de deux présupposés de base de l'économie de marché. Le premier est que la concurrence entre producteurs est le meilleur moyen pour garantir la minimisation des coûts. Le deuxième est que les consommateurs, libres de choisir leur fournisseur et de définir avec lui les conditions de fourniture, se trouvent dans la meilleure condition pour défendre leurs intérêts et profiter de la baisse des coûts. Le risque de marché, qui en résulte, est balancé entre le fournisseur et son client en fonction des modalités du contrat. Afin de minimiser ce risque, l'entreprise peut signer des contrats pour une fourniture dans les semaines, mois, trimestres ou années à venir, à un prix négocié, tout ou partie, lors de la signature du contrat. Cela impose de prendre des décisions alors que l'information est limitée. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle a permis d'améliorer les modèles de recommandation du programme YOP, outil d'aide à la décision développé par YEM, et de préparer leurs intégrations prochaines à la production. Ces évolutions permettront au logiciel de tirer parti, au mieux, des informations existantes et de réagir avec plus de flexibilité aux tendances du marché. La crise énergétique a fait apparaître un besoin de redéfinition du partage des risques entre fournisseur et client. Une possibilité serait l'intégration de clauses en volumes sur la fixation des prix contractés. Ces potentielles évolution nécessiteraient de modifier l'outil en conséquence.



Harold DOUE

Mines Alès

ENGIE

Tutrice : Sarah AMINU

Etudes technico-économique des projets de décarbonation industriels

Les effets cumulés de la COVID-19, de la crise russo-ukrainienne et de la fin des quotas carbone ont créé un climat à la fois de grandes incertitudes, mais aussi d'opportunités considérables pour les industriels. Au travers des appels à projets BCIAT (Biomasse Chaleur Industrie Agriculture et Tertiaire) lancés par l'ADEME, les industriels peuvent obtenir des subventions conséquentes pour leurs initiatives de réduction de leur impact carbone et de sortie des énergies fossiles. Deux industriels français, se sont tournés vers ENGIE pour participer au guichet BCIAT de juin 2022 de l'ADEME pour obtenir les subventions nécessaires à l'installation d'une chaufferie biomasse en remplacement de trois de leur cinq chaudières gaz. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle consistait à réaliser dans un premier temps, les études de faisabilité techniques pour dimensionner la solution biomasse adaptée aux besoins des deux industriels ; ensuite d'évaluer la viabilité économique de la mise d'une installation biomasse par rapport aux installations gaz existantes et pour finir, de candidater au guichet BCIAT en maximisant les chances d'être lauréat. Il ressort de cette étude qu'installation biomasse en remplacement du gaz s'avère être une option rentable pour les deux industriels leur octroyant en plus, une meilleure visibilité sur ses coûts de production dans un contexte de forte incertitude sur les marchés de l'énergie.



Bilal HATEM

X/UPMC

EDF

Tuteurs : Hugo NAHEL, Cyril GISBERT

Modélisation du système électrique Européen : Données et modèles publics

Depuis le début des années 2000, l'Europe a connu une intégration progressive et un couplage de ses réseaux électriques nationaux. Ce couplage facilite l'intégration des énergies renouvelables flexibles. EDF, en tant qu'acteur et producteur majeur dans le marché européen de l'électricité, avec la responsabilité de délivrer une électricité propre, sûre et compétitive est concerné directement par les évolutions du réseau. La R&D a pour mission d'accompagner toutes les branches opérationnelles du groupe sur ces évolutions et leurs impacts sur la gestion du parc électrique. L'objectif de cette mission professionnelle est de faire une analyse fine du jeu de données qui modélise le système électrique européen. Ces données proviennent d'une publication biannuelle de l'association des gestionnaires de réseau de transport d'électricité européens (ENTSO-E) qui décrit les perspectives de l'évolution du système électrique sur dix ans. La dernière publication en date (édition 2020 du TYNDP) était accompagnée par une base de données sur le système électrique de l'année 2025. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle a permis d'établir des analyses comparatives statistiques et macroscopiques sur l'ensemble des données afin de vérifier leur fiabilité et leur cohérence. Des éléments de cette base de données sont comparés à leur homologue dans la base de données historique du groupe afin d'examiner qualitativement le potentiel d'intégration de la base publique TYNDP dans les modèles du groupe. Ce travail a été mené par le développement d'outils informatiques réutilisables pour les prochaines éditions TYNDP, permettant de faciliter l'analyse et l'exploitation de ces données.

Mots-clés : Système électrique, Réseau électrique, Modèles, Python, Europe, Entso-e, Tyndp.



Thibaut FEIX

SEATECH

IFPEN

Tuteur : Emmanuel HACHE

Evaluation de la consommation énergétique et des émissions de GES de la production de matières premières minérales

Portés par la transition écologique et le développement des pays émergeant, les besoins en matières premières minérales sont amenés à croître significativement dans les prochaines décennies, et avec eux les dommages environnementaux associés. Afin d'identifier les leviers de réduction les plus importants, il est nécessaire de quantifier le poids individuel de chacune d'elles. Les analyses de cycle de vie des matières premières sont généralement établies commodité par commodité, dans une certaine région du monde et par une technologie définie en prenant parfois compte des co-produits. Les études permettant un point de vue global sont quant à elles plus rares, et soumises à des difficultés méthodologiques : l'évaluation précise des impacts nécessiterait une connaissance exhaustive de chaque étape de l'extraction de chaque commodité, des produits et co-produits de chaque mine, et de chaque technologie de production utilisée dans le monde. La présente mission a pour but de contribuer à l'évaluation des impacts environnementaux de la production de matières premières à l'échelle globale. Pour pallier les difficultés méthodologiques mentionnées, l'étude propose une approche par intervalle, en donnant une estimation basse, moyenne et haute des consommations énergétiques et des émissions de GES de la production de matières premières. Différents leviers de réduction des impacts sont identifiés, tels l'amélioration du recyclage ou la pénétration de la production d'acier par four à arc électrique en Chine. Il ressort que trois commodités sont à l'origine de 80% de la consommation énergétique et de 90% des émissions de GES du secteur : le fer & l'acier, l'aluminium et le ciment. Bien que les dommages environnementaux de la consommation de métaux associés à la transition énergétique soient significatifs, ceux-ci restent très inférieurs.



Martin CARON

EPF

GRTGaz

Tutrice : Eglantine KUNLE

HUIS CLOS

Modélisation prospective multi-énergies pour l'analyse des infrastructures de transport d'énergie à l'horizon 2050

La volonté de la France de décarboner son économie pourrait amener des modifications majeures dans le système énergétique français. Ainsi, alors qu'une électrification massive des usages permettrait de décarboner de nombreux secteurs, la consommation de gaz devrait être amenée à considérablement diminuer. De plus, l'hydrogène pourrait voir sa consommation croître, à la fois pour le secteur de l'industrie mais aussi comme solution de stockage de la production issue d'énergies renouvelables. Ces trois vecteurs énergétiques seront ainsi amenés à cohabiter dans le futur système énergétique national. Il faut également rajouter à ce système d'ores et déjà complexe que de multiples passerelles seront possibles entre ces vecteurs, comme par l'électrolyse ou la méthanation par exemple. Afin d'éclairer au mieux ces enjeux, GRTGaz travaille donc à l'amélioration continue d'un modèle prospectif multi-énergies (méthane, électricité, hydrogène) des infrastructures à l'horizon 2050. L'entreprise a décidé de s'appuyer sur le logiciel Antares-Simulator pour ce faire. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle s'est décomposé en trois parties majeures. Premièrement, une aide à l'élaboration du maillage nécessaire pour la modélisation des vecteurs méthane, hydrogène et électricité en France. Ensuite l'étape de régionalisation, c'est-à-dire la répartition de la consommation d'énergie et des capacités de production nationales sur les maillages préalablement définis. Enfin, l'implémentation de la couche électricité dans le modèle Antares de l'entreprise, en complément des couches méthane et hydrogène déjà existantes. Mots-clés : modélisation prospective, régionalisation, gaz, hydrogène, électricité, transport



Mohand saïd ABDAT

Centrale Supélec

EDF

Tuteur : Cédric BROUSSILLOU

Optimisation du dimensionnement des systèmes de stockage d'énergie par batterie appliqué aux sites Commerciaux tertiaire et Industriels (C&I)

Depuis 2013, le prix des cellules Li-Ion ont baissé de 80% en moyenne, de 685\$/kWh à 132\$/kWh en 2021 (Bloomberg). Cette baisse est notamment due au recours à la mobilité électrique qui a fortement augmenté la demande de cellules et ainsi engendrer des économies d'échelle. Le nouveau prix des cellules pourrait rendre envisageable l'utilisation des batteries Li-ion comme systèmes de stockage d'énergie sur le réseau électrique. Pour les sites commerciaux et industriels de type HTA & HTB, la réforme TURPE 6 rend l'utilisation des réseaux de transport et de distribution d'énergie plus coûteux. L'utilisation d'une batterie pourrait réaliser une diminution des pics de soutirage et donc réduire les factures de fourniture et de transport d'électricité. Par ailleurs, le besoin en flexibilité du réseau électrique ainsi que les nouveaux écarts de prix du marché de l'énergie constituent des axes de rémunérations supplémentaires qui, en somme, pourrait rentabiliser l'utilisation d'une batterie. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle a permis de mettre au point un modèle d'optimisation afin de maximiser la valeur actuelle nette d'un investissement batterie. Le modèle permet d'établir le modèle d'affaires en additionnant les différentes rémunérations modélisées. Un stress test avec différents scénarios prix est réalisé afin d'étudier la sensibilité du modèle d'affaires. Il ressort de cette étude que le gain réalisé par la réduction des factures énergie et puissance ne peut, à lui seul, compenser le coût d'acquisition d'une batterie. La rentabilité est alors sujette aux revenus des différents marchés de la flexibilité et de l'énergie et par conséquent, augmente le risque de rentabilité du business modèle.

Mots-clés : Batterie, C&I, Optimisation, modèle d'affaires, TURPE 6, Electricité, marchés de la flexibilité, marchés de l'énergie.



Milan RIBIERAS

INSA Rouen

CLAUGER

Tuteur : Grégory TCHABA

Mesure et vérification de la performance, un levier d'optimisation énergétique en milieu industriel

L'industrie représente aujourd'hui 19% de la consommation finale énergétique française. C'est le troisième secteur le plus énergivore, derrière le secteur résidentiel-tertiaire et le transport. La hausse globalisée des prix de l'énergie, les tensions sur les approvisionnements de gaz, ainsi que les réglementations de plus en plus exigeantes poussent les industriels à effectuer une transition des énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon) vers d'autres sources d'énergies moins carbonées. Ainsi, la chaleur fatale (générée par un procédé mais non récupérée) apparaît comme une source d'énergie idéale et gratuite. Le gisement en France est considérable mais peut être réduit de deux manières. En réduisant les émissions de chaleur fatale par le biais d'actions d'efficacité énergétique, ou par la revalorisation de cette chaleur en alimentant d'autres usages. Ces deux leviers seront donc étudiés et détaillés dans ce rapport, à travers des applications concrètes sur des industries du secteur agroalimentaire. Afin d'évaluer les économies engendrées par les actions menées, la mesure et la vérification de la performance énergétique permet de poser un cadre complet et fiable pour les industriels, mais aussi pour les entreprises en maîtrise d'œuvre. En effet, l'accompagnement dans l'exploitation de leur site et le suivi de leur consommation, après la réalisation de travaux conséquents, permet d'identifier de nouvelles pistes d'améliorations et de valorisations de gisements de chaleur fatale, non quantifiables sans mise en place de plans de comptages cohérents.



Félix CONSIGNY

UTC

EDF

Tuteurs : Fabien BRICAULT, Caroline BONO

Modélisation et analyse économique de centrales de production hybrides

L'évolution du secteur électrique (à la fois sur les plans économique, environnemental, institutionnel et technique), et les progrès technologiques (chimie, électronique, matériaux, etc.) ont suscité un intérêt croissant pour le concept d'hybridation de centrales électriques. Ces centrales hybrides permettent la production et la vente d'autres produits que l'énergie électrique. Elles peuvent notamment inclure du stockage ou des systèmes multi-services, tel que la production d'hydrogène ou d'eau dessalinisé. Cependant, de nombreuses questions restent en suspens en ce qui concerne la viabilité du business model d'une centrale hybride. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle a consisté d'abord à l'évaluation du couplage entre une centrale électrique et une usine de dessalement d'eau de mer. Ce type d'hybridation a été analysé sous différents angles : quelle technologie privilégier, pour quels coûts et pour quels marchés. L'étude a notamment mis en avant les pays qui pouvait être intéressés, leurs spécificités, ainsi qu'une projection à 2050 des coûts et des besoins en eau dessalé à l'échelle mondiale. La seconde partie de la mission s'est concentrée sur la modélisation technico-économique des centrales hybrides et la création d'un outil de calcul associé. L'outil permet le calcul de plusieurs configurations d'hybridations différentes – notamment le dessalement – et a été conçu de manière à être flexible et modulaire afin qu'il puisse être facilement amélioré et enrichi par de futurs utilisateurs.



Maxime GOTILLOT

INSA Strasbourg

ENEDIS

Tuteurs : Sophie CARRE, Kevin MARCHANT

Appui au management et mise en œuvre d'un chantier bas carbone à l'Agence Raccordement Marché des Affaires d'Enedis Paris

Le développement massif des énergies renouvelables, le raccordement des nouveaux clients professionnels et particuliers ainsi que le déploiement des bornes de recharges pour les véhicules électriques requiert une planification des travaux minutieuse et des investissements financiers colossaux. De plus, les engagements environnementaux pris par Enedis en vue d'atteindre la neutralité carbone en 2050 vont naturellement engendrer un changement structurel profond de la nature des travaux et un coût économique supplémentaire. Dans ce contexte, la professionnelle se scinde en deux parties bien distinctes. Le premier travail consistait à développer des outils informatiques pour assurer le suivi des agents en vue de les évaluer conformément à leurs objectifs annuels. La concrétisation de ce travail se solde par des envois mensuels à l'ensemble des agents désormais repris par un autre agent. Le deuxième travail s'attachait à la politique RSE de l'Agence. D'abord par l'innovation et la mise en œuvre complète d'un chantier bas carbone en lien avec l'ensemble des acteurs (prestataire, chargé de projet, mairie, voirie), ce travail a été élargi à l'échelle de l'Agence pour réaliser leur bilan carbone. Par suite logique, nous avons pu dresser conformément aux ambitions d'Enedis, une feuille de route pour décarboner l'ARMA. Ces résultats sont économiquement pertinents et viendront remplacer l'ancien règlement dans les prochains marchés d'Enedis.



Axel RICHEL

Polytech Nantes

CMA

Tuteur : Gilles GUERASSIMOFF

Modélisation de réseaux multi-énergies

Alors que les tensions autour de l'énergie s'accroissent, le besoin de repenser nos installations et d'optimiser nos consommations se fait de plus en plus ressentir. Issus de cette volonté, des projets innovants voient le jour à différentes échelles, celles d'une région, d'un quartier, d'une entreprise, etc. Le projet Méridia Smart Energy, réalisé dans le cadre du développement de l'EcoVallée de la Plaine du Var, s'inscrit dans cette dynamique. Porté par un consortium d'industriels et d'institutions, ce projet a pour ambition de mettre en œuvre un démonstrateur de réseau intelligent multi-énergies au cœur de l'écoquartier de Nice Méridia. L'objectif est de montrer l'intérêt de solutions innovantes visant à optimiser la consommation de toutes les formes d'énergie présentes (chaleur, froid, électricité). Parmi ces solutions se trouve notamment l'utilisation d'algorithmes de Machine Learning ayant vocation à piloter le réseau en temps réel afin d'optimiser les flux selon différents critères. Le quartier étant toujours en construction et l'entraînement de ces algorithmes nécessitant une quantité importante de données, la création d'un jumeau numérique du réseau multi-énergies a été entreprise. Cette thèse professionnelle se concentre sur la création de ce jumeau numérique, réalisé principalement à l'aide du logiciel de modélisation et de simulation Dymola.

Mots-clés : Réseau multi-énergies, Réseau intelligent, Modélisation multi-physique, Machine Learning, Optimisation.



Nathan GUILBAUD
Université Paris Saclay

INGEROP

Tuteurs : Amel AZIEZ-CHAMBRE, Coralie BALERE

Chargé d'études en énergétique du bâtiment

Intégré au service Énergie et Environnement du bureau d'études INGEROP, j'ai contribué à la réalisation de bâtiments bioclimatiques en réalisant des études énergétiques et environnementales en phase concours et tout au long de la conception et de la réalisation de projets de constructions neuves et de rénovations. Les études réalisées consistent, pour la partie énergie, à effectuer des simulations thermiques dynamiques (STD) pour déterminer les besoins du bâtiment en énergie, des simulations énergétiques dynamiques (SED) afin d'estimer les consommations des systèmes énergétiques, ainsi qu'à calculer les différents indicateurs réglementaires selon les normes RT2012 et RE2020 à l'aide des logiciels Comfie-Pleiades et ClimaWin. Les études environnementales regroupent quant à elles des calculs d'éclairage naturel, des études d'irradiations solaires, d'ombres portées, de surfaces vitrées, etc. dans le but de gagner des crédits afin de certifier les bâtiments selon les référentiels HQE, BREEAM et LEED à l'aide des logiciels ArchiWIZARD et AutoCAD. De plus, j'ai eu l'occasion de participer aux projets R&D de l'entreprise en réalisant une étude sur l'impact de la nouvelle RE2020 pour les différents services d'INGEROP, et de développer un outil via Excel VBA. Mots-clés : Construction durable, RT2012, RE2020, STD, SED



Aurore ROUX
NEOMA

U.R.B.S

Tuteurs : Jonathan VILLOT, Maximilien BROSSARD

Développement d'un indice composite permettant de cartographier le potentiel de rénovation énergétique des bâtiments résidentiels : applications aux maisons individuelles et monopropriétés

Dans son plan de rénovation énergétique des bâtiments, le gouvernement inscrit la rénovation énergétique comme étant une priorité nationale, intrinsèque à la réponse aux enjeux environnementaux et sociaux du bâtiment. La décarbonation du secteur à l'horizon 2050, soutenue par des instances nationales et internationales, implique un parc 100 % Bâtiments Basse consommation (BBC). Cependant, les résultats des actions de rénovations de cette dernière décennie ne sont pas à la hauteur des enjeux, avec un nombre de rénovation trop bas et des objectifs de baisse de la consommation énergétique et des émissions non atteints. Le travail effectué au cours de cette mission professionnelle a permis la création d'un indice composite permettant de cartographier le potentiel de rénovation énergétique des bâtiments résidentiels, tout en y intégrant la notion de dureté opérationnelle de la mise en œuvre. Cet indice composite a été implémenté dans le géoservice IMOPE et a été testé à toutes les maisons individuelles et les monopropriétés composées d'au moins un logement d'habitation sur le territoire de la ville de Roubaix. La finalité du projet vise à accompagner les utilisateurs d'IMOPE dans l'identification et la mise en place de projets de rénovations groupées, en leur permettant, une fois les bâtiments résidentiels à rénover identifiés, de prioriser et de massifier les projets, tout en prenant en compte les caractéristiques et l'environnement proche des bâtiments et les contraintes à l'action. Mots-clés : rénovation énergétique, maison individuelle, monopropriété, bâtiments résidentiels, territoire, décision.



Joshua LEDUC

Mines Alès

ENERGY POOL

Tuteurs : Nicolas BERGEVIN, Jean-pierre DUCHATEL

Développement et déploiement de solutions d'optimisation pour microgrids et centrales renouvelables hybrides

L'intégration des énergies renouvelables intermittentes est une nécessité pour la transition énergétique, mais aussi un défi. La Business Line Software d'Energy Pool développe et commercialise des outils de pilotage à destination des micro-réseaux électriques et centrales hybrides renouvelables. J'ai participé lors de ma mission à l'amélioration du programme d'optimisation de l'Energy Management System (EMS) permettant d'assurer l'équilibre de micro-réseaux électriques. D'autre part, les producteurs de renouvelables observent un intérêt croissant pour l'hybridation de leurs centrales avec des batteries. Ces dernières permettent de sous-dimensionner le raccordement, de procurer de la flexibilité à la centrale mais aussi d'apporter des revenus complémentaires grâce à la participation aux différents marchés d'équilibre réseau. Mon travail ici fut la détermination du dimensionnement optimal de la batterie pour un projet, ainsi que la réflexion autour du futur programme de pilotage.

Mots-clés : optimisation, micro-réseaux électriques, centrales hybrides, marchés.



Mohammed AIT LAHCEN

INSA Lyon

EDF

Tuteur : Rémy AIOUN

Intégration de nouvelles flexibilités type batterie dans le modèle Apogène, et dans le portefeuille EDF

HUIS CLOS

Dans le cadre de la transition énergétique, ainsi que pour atteindre l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050, les études sur des moyens de production d'énergie alternatifs aux méthodes conventionnelles sont devenues incontournables. Dans ce contexte, nous proposons de développer un modèle d'optimisation de stockage par batterie en résolvant un problème de programmation linéaire en nombres entiers (PLNE). Ce dernier doit permettre de modéliser des batteries dans un parc de production quelconque, afin de notamment mieux gérer la production intermittente des énergies renouvelables. Dans le cas général, les modèles d'optimisation de stockage par batterie sont modélisés en micro-grid (réseau isolé) ou en off-grid (en dehors du réseau). La complexité de notre modélisation réside dans son intégration à un parc complet déjà existant et donc au réseau. Deux modélisations sont proposées dans ce document. Nous nous intéressons tout d'abord à une modélisation de la batterie en la considérant comme un aménagement hydraulique de type « STEP ». Nous implémentons ensuite une modélisation plus fine et plus proche des caractéristiques réelles d'une batterie. Pour intégrer le stockage par batterie dans tout le parc de production, les méthodes de décompositions ainsi que les calculs des lagrangiens en modélisation statique et dynamique doivent accueillir ce nouvel élément et l'harmoniser grâce à des règles d'implémentation bien spécifiques (garantissant la qualité logicielle d'un code industriel). Ce document énonce en premier lieu la description du problème traité, ainsi que son intégration au reste du parc. Nous proposons ensuite une étude ainsi qu'une comparaison des deux méthodes utilisées pour statuer sur leurs pertinences et leurs limitations.