

Proposition de deux stages de Master 2 pour le Projet ESTEES

(LabEx DRIIHM, ANR-11-LABX-0010)

Evaluation de scénarios pour une transition énergétique, économique et sociale de la région de Fessenheim (ESTEES).

Résumé

Le modèle social, économique, énergétique, et politique de la région de Fessenheim est profondément affecté par la fermeture de la centrale nucléaire de Fessenheim en 2020. Les transformations de ce modèle doivent favoriser une planification locale raisonnée des investissements structurels dans tous les secteurs économiques pour réduire drastiquement les émissions locales de gaz à effet de serre, les gaspillages d'énergie et de matière, les importations d'énergie fossile et fissile, et ainsi répondre aux objectifs stratégiques européens (Fit for 55) et français (Stratégie Nationale Bas Carbone). Les gestionnaires des territoires doivent être accompagnés dans leurs démarches sur la base d'évaluations quantitatives multicritères de scénarios énergétiques futurs possibles pour les décennies à venir.

Les deux stages M2 proposés ici conjointement par nos deux laboratoires pour l'année 2023 entrent dans le cadre du projet ESTEES et se font le relais des deux autres stages M2 déjà réalisés en 2022 dans le cadre du projet Interreg RES-TMO. Ce projet ESTEES propose d'**utiliser le logiciel libre d'analyse danois EnergyPLAN de planification énergétique pour modéliser le système énergétique actuel de la région autour de Fessenheim** (tâche RES-TMO effectuée en 2022) **et ses évolutions futures aux horizons 2030 et 2050** (tâche ESTEES prévue en 2023), en initiant au préalable la **création d'une base de données énergétiques et climatiques complète de cette région** (tâche RES-TMO accomplie en 2022), pour **accroître sa résolution spatiale et temporelle tout en la rendant évolutive et pérenne** (tâche ESTEES prévue en 2023).

L'outil EnergyPLAN offre la possibilité d'analyser la demande en énergie et le potentiel de production énergétique, de proposer plusieurs scénarios de transformation du système énergétique, et d'évaluer leurs impacts. L'ensemble des scénarios peut être caractérisé en fonction de leurs efficacités, leurs coûts, leurs impacts socio-économiques et environnementaux. EnergyPLAN est l'un des outils de planification énergétique les plus puissants et universels utilisés internationalement par les chercheurs et ingénieurs. Il modélise, planifie et analyse le fonctionnement et les bilans horaires des systèmes énergétiques, économiques et climatiques locaux et nationaux sous tous leurs aspects, dans tous les secteurs économiques, pour tous les vecteurs et formes d'énergie, en faisant appel ou non à une optimisation technique ou économique pour aller chercher les scénarios « optimaux » offrant la plus grande efficacité énergétique, le plus grand taux de couverture renouvelable ou le coût minimal.

Contexte et problématique

Actuellement, 88% des émissions de gaz à effet de serre (GES) émis résultent de la combustion de combustibles fossiles, contribuant à l'augmentation de leur concentration atmosphérique [AIE, 2020]. Cette augmentation est le principal moteur du dérèglement climatique global dont les conséquences sont désormais visibles partout dans le monde. Réduire massivement et très rapidement les émissions de GES pour en réduire les impacts sur nos sociétés est l'enjeu majeur actuel. Il requiert la réduction rapide de la demande énergétique (par la sobriété individuelle et collective de tous les acteurs socio-économiques), l'augmentation de l'efficacité énergétique, la mise en place coordonnée d'une véritable

écologie industrielle, et le développement accéléré et massif des filières de production et de stockage multi-échelles des énergies renouvelables.

L'avantage majeur des énergies renouvelables éolienne, solaire et houlomotrice est qu'elles sont naturelles, sans extraction, surabondantes et disponibles sur le territoire. Leur production, certes variable, est modélisable et prévisible. Cette variabilité et celle des consommations est parfaitement gérable aujourd'hui et le sera davantage à l'avenir en les complétant par des productions pilotables (hydroélectricité, géothermie, cogénération biomasse-biogaz, éventuellement nucléaire) ; en jugulant les surconsommations ; en décalant les puissances appelées ; en couplant les réseaux (électricité, chaleur, froid, gaz, mobilités) et les stockages énergétiques aux différentes échelles spatiales (locale, régionale, nationale, internationale) et temporelles (jour, semaine, saison, année), tout en assurant à tout instant la stabilité et la sécurité du système énergétique.

Une infinité de scénarios peuvent être déclinés en combinant les technologies actuelles et futures pour produire, stocker et convertir les énergies nécessaires à tout instant aux besoins énergétiques réels des différents secteurs économiques répondant aux enjeux climatiques, écologiques et sanitaires mondiaux. Chaque technologie utilise des ressources différentes (renouvelables ou non) et impacte différemment l'environnement en termes d'émissions de GES, de consommation d'eau et de pollutions diverses. Le choix du meilleur scénario se pose dans toutes les régions du monde et fait particulièrement débat en France et en Europe, questionnant la place du nucléaire et du charbon dans les mix électriques, et interroge les territoires autour de Fessenheim sur le démantèlement (méthodologie, risques, objectifs) de la centrale nucléaire et sur leur avenir après sa fermeture définitive.

Les outils de planification énergétique les plus utilisés actuellement sont le plus souvent orientés vers l'estimation des coûts économiques de chaque scénario. Ces coûts sont des indicateurs essentiels, mais sont incertains, incomplets, biaisés et évolutifs. Les coûts électronucléaires sont régulièrement réévalués à la hausse (sûreté post-Fukushima, vieillissement, démantèlements, déchets nucléaires). A l'inverse, les coûts des technologies renouvelables, des stockages électriques et thermiques baissent fortement et régulièrement depuis des décennies grâce aux progrès de la recherche (efficacité, ruptures technologiques, rendements, économie de matériaux), même s'ils ne prennent pas toujours en compte les seconds usages possibles et la valorisation des matériaux issus du recyclage ou des montées en gamme.

La pertinence des scénarios repose également sur la constitution de bases de données statistiques transparentes fiables, complètes, étendues dans le temps, et de résolution géographique, sectorielle, économique et administrative suffisante, ce qui est souvent loin d'être le cas.

Objectifs du stage

L'objectif du présent projet est de se focaliser sur les territoires concentriques autour de Fessenheim (en premier lieu, le département du Haut-Rhin, élargi ensuite au Baden-Württemberg, aux départements français limitrophes et au Basel-Land) pour lui appliquer une modélisation de planification énergétique sur des bases scientifiques solides et tester l'impact des différentes hypothèses sur les trajectoires énergétiques, économiques et écologiques annuelles jusqu'en 2030 et 2050.

Le logiciel libre EnergyPLAN, développé et mis à jour par l'Université d'Aalborg (Danemark) depuis 1999, est utilisé pour tester les différentes hypothèses de structures des systèmes de productions-stockages-couplages-consommations-importations-exportations, et pour rechercher un optimum technique ou économique selon les choix introduits par l'équipe de recherche. Il simule le fonctionnement de ces systèmes *heure par heure* en y incluant toutes les formes de stockages (y compris les véhicules électriques en V2G, les STEP, le biométhane, l'hydrogène, l'air comprimé, les cuves et puits thermiques, etc.), les échanges extérieurs sur les marchés de l'électricité et de gaz, les analyses

complètes de coûts, etc. Il permet également d'étudier les émissions de GES associées (y compris avec capture-stockage du CO₂), tout en incluant la possibilité d'introduire des outils d'orientation économique tels que diverses taxes sur les gaz à effet de serre et les pollutions, l'électricité, les importations, etc.

Les choix de modélisation à programmer dans EnergyPLAN peuvent être :

- **techniques** (installations renouvelables, configuration des réseaux énergétiques et de leur degré de couplage, configuration des stockages énergétiques, degré de diffusion des technologies ; recyclage des matériaux et réparation des matériels; récupération des énergies fatales, etc.) ;
- **géographiques** (modification des pratiques, évolution des offres et structures de transports, configurations urbaines soutenables, liaisons naturelles, zones protégées, zones inondables et régénération écologique des cours d'eau, bassins versants et vallées, zone montagneuses, relations transfrontalières, etc.) ;
- **écologiques** (évolution contrôlée des émissions/stockage de GES par secteur et par zone, des pertes énergétiques, des pollutions chimiques, biologiques et peut-être radiologiques, de la restauration biologique des sols et des eaux, de la pollution de l'air) ;
- **socio-économiques** (évolution des structures d'emploi, des distances travail-domicile; besoins en formation; flexibilités; évolution du travail à distance; évolution des équipements éducatifs, socio - culturels, mesures de sobriété, éducation à l'équilibre alimentaire, évolution de l'état sanitaire des populations, etc.).

La méthodologie

Les deux stages proposés sont complémentaires et coordonnés ; ils s'articulent autour de deux tâches principales :

- **T1 : renforcement et extension de la base de données énergétique, climatique et économique déjà construite en 2022.** Cette base de données, déjà structurée sur les données disponibles de l'année 2018 pour le département du Haut-Rhin, intègre l'ensemble des productions, distributions, consommations et échanges énergétiques par secteurs économiques et par vecteurs énergétiques dans les moindres détails. Elle comprend également les évaluations des potentiels et des capacités de productions énergétiques renouvelables calculables pour l'année 2018 pour ce département. La tâche T1 consistera à :
 - affiner toutes les données possibles de l'année 2018 du Haut-Rhin à l'échelle spatiale la plus fine, en incluant des sous-données locales communales, particulièrement dans le triangle Colmar-Mulhouse-Neuf-Brisach, et dans tout le Haut-Rhin ;
 - étendre la base de données ainsi affinée aux années 2019, 2020 et 2021 ;
 - élargir la base de données aux départements limitrophes (Territoire de Belfort ; Vosges, Bas-Rhin), au les pays limitrophes du Baden-Württemberg et de Basel-land ;
 - préparer l'évolution automatique de la base de données pour l'année en cours et les années à venir en y intégrant l'évolution des structures (énergétiques, transports, habitat, agriculture, etc.) prévues dans les modalités des transitions énergétiques mises en œuvre dans la tâche T2.
- **T2 : modélisation et programmation dans EnergyPLAN de l'évolution des structures (énergétiques, transports, habitat, agriculture, etc.) de la région autour de Fessenheim.** Cette tâche consistera à :
 - élaborer diverses hypothèses techniques et économiques sur les structures en question, pour construire diverses trajectoires possibles et réalistes de transition énergétique, capables de répondre aux contraintes climatiques et aux objectifs européens de

lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, de préservation de la biodiversité et de souveraineté européenne aux horizons 2030 et 2050 ;

- implémenter ces hypothèses dans les moindres détails comme entrées évolutives de la structure de programmation EnergyPLAN ;
- réaliser les simulations correspondantes année par année du futur système énergétique du Haut-Rhin (zone géographique *a minima*, pouvant être élargie aux territoires limitrophes décrits dans la tâche T1 selon le temps disponible). Ces simulations seront conduites dans une première étape sans optimisation technique ou économique de la structure. Dans une seconde étape, elles seront optimisées pour chaque année successive, soit de manière technique, soit de manière économique, d'aujourd'hui jusqu'à 2050 ;
- analyser les résultats complets de ces simulations sous forme de bilans énergétiques, climatiques et économiques, année après année jusqu'en 2030 pour chacune des trajectoires définies suivant leurs caractéristiques majeures. Des tableaux et des graphes synthétiques seront produits pour détailler les évolutions de chaque élément de ces trajectoires (productions de chaque énergie renouvelable, consommations par vecteur et par secteur, distribution des vecteurs, stockages par énergies, importations-exportations, émissions nettes de GES, investissements, coûts, etc.).

Résultats attendus

Les résultats attendus sont :

- une **base de données dynamique et pérenne** sur les demandes énergétiques par secteur et par vecteur, les productions énergétiques renouvelables, les distributions énergétiques, les stockages énergétiques, les potentiels énergétiques renouvelables des zones géographiques visées par le projet. Cette base de données doit être modulée *in fine* aux différentes échelles géographiques, socio-économiques et technologiques pertinentes avec la granularité la plus fine possible (communes) ;
- les plans de transition énergétique et climatique possibles de la région autour de Fessenheim, qui seront remis ultérieurement à l'ensemble des acteurs socio-économiques de ce territoire. Ces plans seront construits à partir de différentes grilles complètes d'hypothèses sur l'évolution des structures énergétiques et des modes de vie de la région entre aujourd'hui et 2030 puis 2050. Ils seront obtenus par implémentation de ces grilles d'hypothèses dans le programme d'analyse énergétique EnergyPLAN ;
- une analyse critique détaillée des résultats obtenus, permettant de tester la pertinence/robustesse des résultats de EnergyPLAN. Ces analyses devront porter sur l'aptitude de chaque modèle à traiter la finesse des structures techniques, les capacités temporelles et spatiales en puissance des potentiels énergétiques renouvelables aux échelles locales, à coupler les structures énergétiques (réseaux et stockages couplés ou non, intelligents ou non) aux besoins réels instantanés, à définir ces besoins selon les secteurs économiques et les échelles spatiales avec la résolution nécessaire, à chiffrer les coûts CAPEX et OPEX des différentes structures étudiées, à évaluer les trajectoires en énergies primaires, vectorielles et finales et en émissions de GES des scénarios possibles.

Profil recherché

Etudiantes et étudiants de Master 2, issus de formation en physique, en énergie, sciences environnementales, ou en géographie.

Formation et expérience professionnelle souhaitée :

Connaissances des techniques appliquées au domaine, savoir-faire opérationnels
Outils informatiques / logiciels
Compétences linguistiques
Qualités rédactionnelles
Aptitude au travail en équipe
Capacité à travailler dans le respect des règles et procédures
Autonomie, capacité organisationnelle et capacité à rendre compte
Autres : Adaptation aux contraintes du travail, capacité à communiquer et à argumenter, analyse, synthèse et esprit critique, capacité à apprendre et à développer ses compétences, flexibilité et adaptabilité, créativité, gestion des risques...

Modalités pratiques

Localisation et encadrement du stage

Le groupe de recherche « Energie, Pollution de l’Air et Climat » (EPAC) du laboratoire de recherche Image Ville Environnement (LIVE) sera le groupe d’accueil. Ce groupe développe actuellement le modèle de planification énergétique REPM (Regional Energy Planning Model). Le travail se fera en étroite collaboration avec le département Energie du laboratoire FEMTO-ST qui travaille à la mise au point des dispositifs et systèmes énergétiques de production et de stockage, à la modélisation et l’optimisation de systèmes de conversion énergétique, de smartgrids, et à la modélisation des planifications énergétiques. Il sera encadré par :

- Nadège BLOND, Laboratoire Image Ville Environnement, UMR 7362, 3, rue de l'Argonne F-67000 STRASBOURG (France). Courriel : nadege.blond@live-cnrs.unistra.fr
- Thierry de LAROCHELAMBERT, Département Energie de l’Institut FEMTO-ST, UMR 6174, Parc Technologique, 2 avenue Jean Moulin, 90000 BELFORT (FRANCE). Courriel : thierry.larochelambert@femto-st.fr

Indemnités

Indemnité de stage forfaitaire soit environ 591€/mois.

Durée du stage

6 mois selon calendrier du master de provenance, entre février et juillet 2023. À préciser avec le(la) candidat(e).

Modalités et date limite de candidature

Les candidatures sont à envoyer **dès que possible** fin décembre et jusqu’à début janvier au plus tard, sous forme d’un CV et d’une lettre de motivation précisant le niveau du candidat (notes à indiquer) à nadege.blond@live-cnrs.unistra.fr et thierry.larochelambert@femto-st.fr