

Projets du parcours Artem 2A et consignes pour le département *Énergie & Fluides*

Version du 30 mai 2017

Ce catalogue a été distribué aux élèves le 16 novembre. Les projets ont été présentés oralement le 21 novembre, et les choix de projets se sont fait le jour même, cf. à la fin de la section de chaque sujet. Deux créneaux de projet furent disponibles fin 2016, pour lancer la réflexion sur les sujets. Trois créneaux furent disponibles en janvier. Un rythme de travail plus soutenu, avec, en général, au moins un créneau de projet chaque semaine, fut mis en place en février, cf. [l'emploi du temps en section 2 de la page 2A du département, http://energie.mines-nancy.univ-lorraine.fr/2A](http://energie.mines-nancy.univ-lorraine.fr/2A). Des soutenances à mi-parcours ont eu lieu en mars - avril 2017, selon les groupes. Voyez aussi les consignes de *gestion de projet* de l'**annexe A**.

Le *rapport de projet final* sera envoyé par mel au responsable du département et à tous les tuteurs au plus tard **vendredi 9 juin à 15h**. Dans les mêmes délais, un exemplaire imprimé de ce rapport sera déposé dans le casier du responsable de département¹. Ce rapport fera 20 à 30 pages hors annexes, 30 à 60 pages avec annexes pour les binômes; 25 à 35 pages hors annexes, 40 à 70 pages avec annexes pour le trinôme. Sous la forme d'un PDF navigable, il devra comporter au moins une annexe. Il devra comporter une bibliographie étoffée référencée dans le corps du texte, suivant les consignes de l'**annexe B**. Il présentera de façon *scientifique* le sujet du projet, dans son contexte, le travail effectué, enfin, quelques conclusions et perspectives.

Les *soutenances finales* auront lieu **jeudi 15 juin salle P208**, suivant ce programme :

1^{ère} session présidée par M. Jenny :

Heure	Élève	Sujet	Tuteurs présents
8h45	Mieuguem	R Comportement instationnaire d'une PAC	Mainka & Lottin
9h30	Paulin	R Écoulements de Taylor-Couette de fluides thixotropes	Jenny

Fin vers 12h

2^{ème} session présidée par E. Plaut :

Heure	Élèves	Sujet	Tuteurs présents
10h30	Million & Sahabi	3 Gel thermoélastique représentant un fluide à seuil en cellule RB	Nouar & Rahouadj
11h20	Bendahou & Loux	6 Impacts de la construct° & rénovat° de postes source	Oudin & Sessiecq

3^{ème} session présidée par E. Plaut :

Heure	Élèves	Sujet	Tuteurs présents
14h00	Kadiri & Semblat	2 Échangeur de chaleur bitube en régime instationnaire	Kheiri
14h45	Bignon & Pierson	1 Métrologie de barrières thermiques microstructurées	Schick
15h40	Jourdain de Muizon & Danouf	4 Films d'eau pour la protection incendie	Mehaddi & Collin
16h20	El Jazouli, Machrafi & Sanquer	5 Modèle $k - \epsilon$ d'écoulements turbulents en canal	Plaut

Vers 17h20, évaluation pédagogique globale de la 2A, puis jus de fruits - Fin vers 18h

Ci-dessus le programme complet des soutenances est donné, puisqu'on demande à tous les élèves d'assister à toutes les soutenances².

Vous préparerez un exposé oral *scientifique* de 25 minutes pour les binômes, 35 minutes pour le trinôme, avec les mêmes items que le rapport (sujet dans son contexte, travail, conclusions et perspectives) mais sur la base d'une *présentation* vidéo PPT ou PDF.

Après votre soutenance vous serez soumis à une séance de questions - réponses de la part de vos tuteur(s) et responsable de département.

1. Mon casier se trouve au 1^{er} étage du bâtiment A, à droite de l'ascenseur, en face du bureau A127.

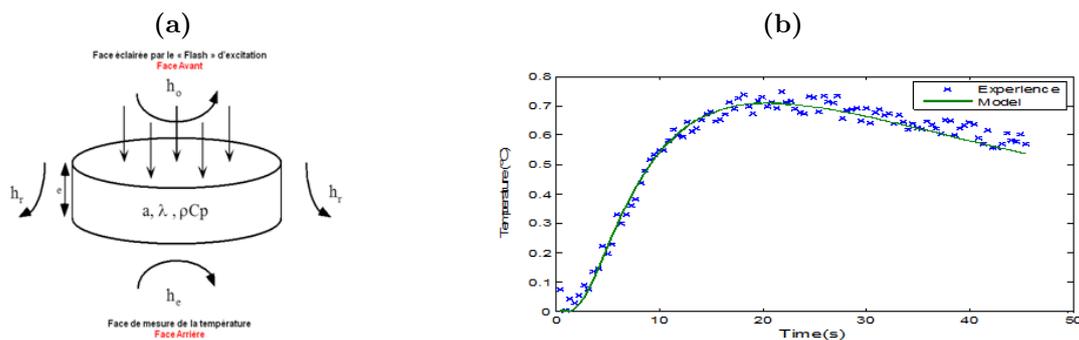
2. Les soutenances d'élèves en parcours Recherche sont indiquées avec un **R**.

1 Mise au point d'une méthode de mesure des propriétés thermiques de barrières thermiques microstructurées

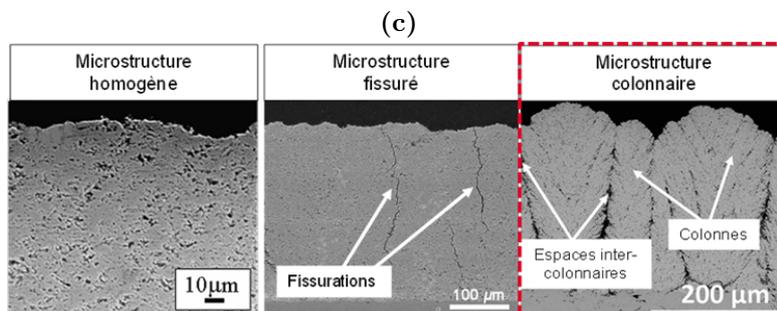
Tuteur : Vincent Schick, MC UL
03 83 59 57 11
vincent.schick@univ-lorraine.fr
LEMTA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

Descriptif du sujet :

Le *commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives* (CEA) en collaboration avec le *groupe SAFRAN* développe actuellement des *revêtements de protection thermique pour les aubes de turbine* afin d'augmenter la température de fonctionnement des turboréacteurs. Les propriétés thermiques des matériaux sont obtenues par calorimétrie pour la capacité thermique et via *méthode flash* pour la *diffusivité thermique*, sur une large gamme de température. Cette méthode impulsionnelle (schéma de principe figure a) consiste à soumettre la face avant d'un échantillon plan à une impulsion de flux de chaleur de courte durée et à observer l'évolution temporelle de la température (thermogramme) en un ou plusieurs points de l'échantillon. L'estimation de la diffusivité thermique est réalisée par méthode inverse à partir du *thermogramme* (figure b). On simule un thermogramme à partir d'un *modèle* (problème direct) des transferts thermiques dans la cellule de mesure. Celui-ci est ensuite ajusté à l'expérience en faisant varier un ou plusieurs paramètres, dont la diffusivité thermique, le paramètre identifié à l'ajustement optimal expérience-modèle sera la valeur estimée de la diffusivité thermique.



Néanmoins, les matériaux étudiés présentent une *forte anisotropie* (figure c), ainsi la conductivité dans le sens de la structure colonnaire peut être différente de celle perpendiculaire à ces colonnes (non mesurable à l'heure actuelle).



L'objectif du projet est l'*implémentation de modèles semi-analytiques* utilisant des transformées intégrales en temps (Laplace) et en espace (Fourier cosinus) pour identifier toutes les composantes de la diffusivité thermique de dépôts barrière thermique.

Pré-requis : approche analytique de la méthode Flash (cf. Transferts Thermiques), utilisation de Matlab.

Élèves ayant choisi ce sujet : Adrien Bignon & Martin Pierson.

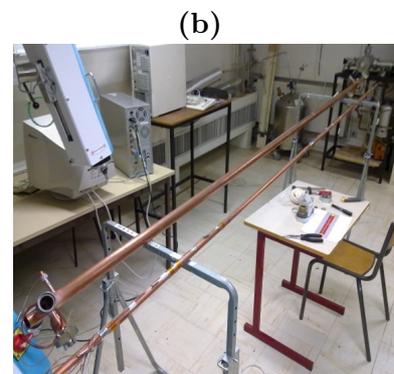
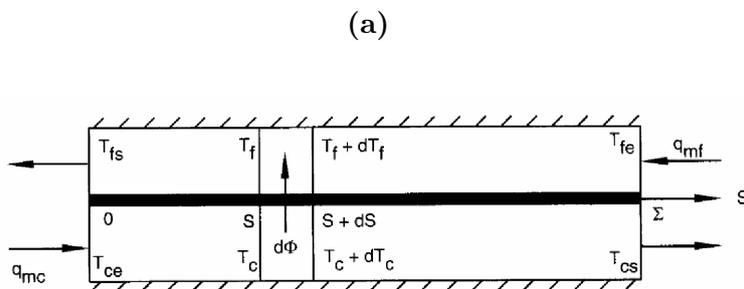
2 Modélisation d'un échangeur de chaleur bitube en régime instationnaire

Tuteurs : Abdelhamid Kheiri, MC UL Mohamed Tahar Mabrouk, Post doctorant UL
03 83 68 50 86
abdelhamid.kheiri@univ-lorraine.fr mohamed-tahar.mabrouk@univ-lorraine.fr
LEMETA site ESSTIN, Vandœuvre-lès-Nancy LEMETA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

Descriptif du sujet :

Les *échangeurs de chaleur* sont omniprésents dans de nombreux systèmes industriels. Ils fonctionnent souvent en *régime instationnaire*. En règle générale, l'instationnarité (ou « régime dynamique ») dans un échangeur est induite par une variation temporelle du débit et/ou de la température d'au moins l'un des deux fluides. Un exemple simple est le radiateur de refroidissement du moteur d'une voiture : celle-ci ne se déplace jamais avec le même régime moteur, ni à la même vitesse. Le liquide de refroidissement subit donc des rampes de température, et l'air, chargé de refroidir le liquide, subit lui des échelons ou rampes de débit. Il en est de même, mais avec d'autres constantes de temps, pour les échangeurs utilisés en réfrigération (évaporateurs et condenseurs) et pour les applications liés aux énergies renouvelables solaires ou éolienne, à cause de l'intermittence de la source.

En régime instationnaire, le comportement des échangeurs est souvent mal connu, voire même, leur dimensionnement est mal pensé pour ces conditions. On propose ici de s'intéresser à un échangeur de géométrie simple, dit « *bitube* » : le fluide chaud circule dans un tuyau qui est lui-même au centre d'un plus grand tuyau, dans lequel circule le fluide froid, à contre-courant, cf. la figure a présentant les échanges élémentaires dans ce système. Malgré sa relative simplicité, cet échangeur a fait l'objet de peu d'études, surtout dans le cas où l'un des fluides au moins est un gaz. On signale qu'une expérience sur ce système existe au **LEMETA**, et a donné lieu à une publication (Mabrouk et al. 2013), cf. la photographie du montage en figure b.



Le travail de projet devrait se décomposer ainsi :

1. Étude bibliographique.
2. *Amélioration et résolution d'un modèle* existant, en rajoutant notamment les effets de *transfert radiatif*, pour l'instant négligés. On envisagera les cas où les deux fluides sont des gaz (par exemple de l'hydrogène) ou au contraire des liquides. Idéalement, on évaluera l'efficacité énergétique et le rendement exergetique.
3. Comparaison entre les résultats du modèle et des résultats expérimentaux.

Référence :

MABROUK, M. T., KHEIRI, A. & FEIDT, M. 2013 Étude expérimentale et numérique d'un échangeur de chaleur monophasique gaz-gaz fonctionnant en régime dynamique. *Communication au Congrès de la Société Française de Thermique, Gérardmer*.

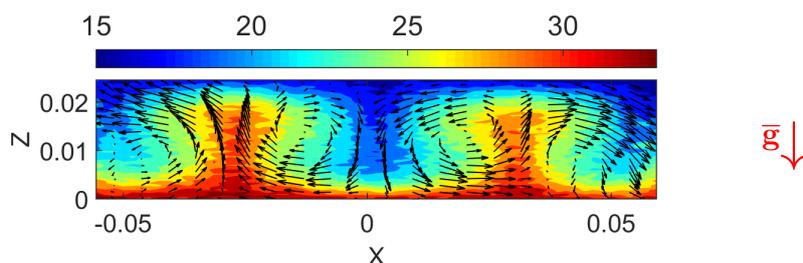
Élèves ayant choisi ce sujet : Meryem Kadiri & Rémi Semblat.

3 Gel thermoélastique représentant un fluide à seuil en cellule de Rayleigh-Bénard : analyse des contraintes

Tuteurs : Chérif Nouar, DR CNRS Rachid Rahouadj, PR UL
03 83 59 55 95 03 83 59 57 23
cherif.nouar@univ-lorraine.fr rachid.rahouadj@univ-lorraine.fr
LEMTA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

Descriptif du sujet :

Le démarrage de la *thermoconvection de Rayleigh-Bénard* (figure ci-dessous : thermoconvection développée observée par IRM au LEMTA, champ de vitesse : flèches, température : couleurs, cf. Darbouli et al. 2016), pose un problème conceptuel dans le cas d'un *fluide à seuil de contrainte*. De tels fluides comme la mayonnaise, le yaourt, certaines peintures, boues, ciments, etc... sont des « *solides thermoélastiques* » lorsqu'ils ne sont pas trop sollicités mécaniquement, mais deviennent fluides au delà d'un certain seuil de sollicitation. Plus précisément le caractère solide se manifeste tant que le déviateur $\bar{\tau}$ du tenseur des contraintes $\bar{\sigma}$, $\bar{\tau} = \bar{\sigma} - \frac{1}{3}\text{tr}(\bar{\sigma})\bar{\mathbf{1}}$, est de norme τ inférieure à une contrainte seuil τ_s . On comprend alors qu'en présence de perturbations infinitésimales, suivant les principes d'une analyse linéaire de stabilité, on reste toujours sous le seuil d'écoulement. Le démarrage de la thermoconvection de Rayleigh-Bénard est donc, forcément, théoriquement, un phénomène non linéaire. Expérimentalement, des résultats contradictoires ont été obtenus récemment par Darbouli et al. (2013), Kebiche et al. (2014) sur le démarrage de la thermoconvection de Rayleigh-Bénard dans des fluides à seuil constitués de solutions aqueuses de polymères.



On propose une *étude théorique* de l'état de contrainte dans un tel fluide à seuil ou « gel », sous son seuil d'écoulement, dans une cellule de Rayleigh-Bénard, en le considérant comme un *solide thermoélastique*. On supposera que, dans la cellule étudiée, en plus du gradient thermique vertical, il existe éventuellement un léger gradient thermique horizontal, dû à une imperfection. Les équations de la thermoélasticité seront explicitées et résolues, autant que possible, analytiquement, mais il faudra aussi, éventuellement, envisager une résolution numérique. Elle se fera sans doute à l'aide du *logiciel libre d'éléments finis* Freefem++. On sera attentif aux ordres de grandeur.

En parallèle, une *étude expérimentale* visera à mesurer les propriétés viscoélastiques d'un gel de *Carbopol* en fonction de la température. Le champ de déplacement et de déformation dans une couche de gel de *Carbopol* chauffée par le bas seront déterminés par visualisation.

Ce projet serait l'occasion de faire un peu de *physique et mécanique des matériaux*, dans un sens large, et de s'ouvrir aussi sur le monde des *fluides non newtoniens*.

Références :

DARBOULI, M., MÉTIVIER, C., PIAU, J.-M., MAGNIN, A. & ABDELALI, A. 2013 Rayleigh-Bénard convection for viscoplastic fluids. *Phys. Fluids* **25**, 023101 (15 p).

DARBOULI, M., MÉTIVIER, C., LECLERC, S., NOUAR, C., BOUTERAA, M. & STEMMELLEN, D. 2016 Natural convection in shear-thinning fluids : Experimental investigations by MRI. *Int. J. Heat & Mass Transfer* **95**, 742-754.

KEBICHE, Z., CASTELAIN, C. & BURGHELEA, T. 2014 Experimental investigation of the Rayleigh-Bénard convection in a yield stress fluid. *J. Non-Newt. Fluid Mech.* **203**, 9 - 23.

Élèves ayant choisi ce sujet : François Million & Amine Sahabi.

4 Étude de l'épaisseur de films d'eau soumis à un flux thermique pour la protection incendie

Tuteurs : Rabah Mehaddi, MC UL
03 83 59 56 64
rabah.mehaddi@univ-lorraine.fr

Anthony Collin, MC UL
03 83 59 55 55
anthony.collin@univ-lorraine.fr
<http://anthonycollin.perso.univ-lorraine.fr>

LEMMA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

Descriptif du sujet :

La *protection incendie en milieux confinés et isolés*, un bâtiment de la marine marchande par exemple, est un enjeu crucial car, sur ce type de configurations, les ressources en eau et en moyens humains sont extrêmement limitées. En cas d'incendie, la première mesure prise est de confiner le sinistre et éviter toute propagation. Dans le cadre des feux de navires, il est démontré que la propagation des incendies intervient principalement,

- soit par les passages de cables,
- soit par les *parois* séparant les différents compartiments ou coursives.

Pour ce dernier mode de propagation, l'incendie présent dans un compartiment conduit à une telle température que les parois de séparation émettent énormément de *rayonnement thermique*. Cette énergie thermique peut alors être suffisante pour permettre l'inflammation du mobilier ou des objets contenus dans un compartiment voisin. Une solution envisageable pour éviter l'échauffement de la paroi est de créer une fine pellicule d'eau par un *film ruisselant*. L'action de ce système de protection est double :

- limiter l'absorption de l'énergie radiative par la paroi séparatrice ;
- refroidir la paroi de séparation par advection ou éventuellement par évaporation.

L'efficacité de ce type de protection incendie repose essentiellement sur l'épaisseur et l'homogénéité du film ruisselant.

Au travers du projet MARINER, piloté par la DGA (Direction Générale de l'Armement), le **LEMMA** a développé un *banc expérimental d'essais* permettant de mesurer de manière simultanée l'épaisseur du film d'eau par une diode laser et sa transmittivité spectrale par un spectromètre à transformée de Fourier (Brissinger et al. 2014). Sous des conditions parfaitement isothermes, ces essais ont démontré que des films liquides de 100 μm d'épaisseur permettent d'atténuer le rayonnement thermique de 10% (via des phénomènes d'absorption et de réflexion du rayonnement) et que des pellicules de 500 μm ne laissent passer que 1% de l'énergie radiative.

La question qui se pose à présent porte sur le *comportement et la cohésion du film ruisselant* lorsqu'il est soumis à un *flux thermique important*. En effet, sous des conditions proches d'un incendie, un *gradient thermique* peut apparaître au sein du film, entraînant des *instabilités* (liées à l'effet Marangoni, cf. Kalliadasis et al. 2011) qui peuvent déstructurer le film liquide, en l'occurrence, par une diminution d'épaisseur. Le travail demandé consiste à :

- Réaliser une étude bibliographie - un état de l'art sur ce type de protection incendie.
- Adapter le banc d'essai en vue de réaliser une attaque du film ruisselant par un flux thermique, via un corps noir étendu par exemple.
- Dupliquer le système de mesure d'épaisseur de film pour être en mesure de capter les instabilités.
- Analyser expérimentalement les différents régimes d'écoulement et quantifier leur impact sur l'épaisseur minimale du film liquide.

Références :

BRISSINGER, D., PARENT, G. & BOULET, P. 2014 Experimental study on radiation attenuation by a water film. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* **145**, 160-168.

KALLIADASIS, S., RUYER-QUIL, C., SCHEID, B. & VELARDE, M. G. 2011 *Falling liquid films*. Springer.

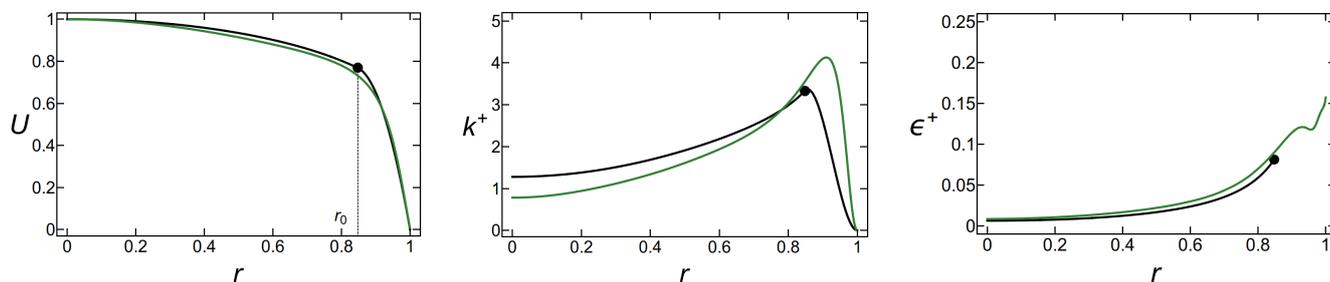
Élèves ayant choisi ce sujet : Antoine Jourdain de Muizon & Rémi Danouf.

5 Modèle $k - \epsilon$ d'écoulements turbulents en canal avec lois de parois

Tuteur : Emmanuel Plaut, PR UL
03 83 59 57 45
emmanuel.plaut@univ-lorraine.fr
LEMTA site ENSEM, Vandœuvre-lès-Nancy

Descriptif du sujet :

Les *modèles de turbulence avec moyenne de Reynolds*, comme le modèle $k - \epsilon$, sont souvent utilisés en recherche & développement pour étudier des systèmes de grande taille, par exemple, pour l'étude du sillage d'éoliennes (van der Laan et al. 2014). En effet, des simulations numériques directes (SND) ou même des simulations numériques des grandes échelles seulement requerraient trop de puissance de calcul. De plus, pour ne pas avoir à utiliser un maillage trop fin, les *conditions limites* près du sol sont en général écrites dans la *couche externe* comme des « *lois de parois* ». Celles-ci résultent du modèle de Karman - Prandtl des couches limites turbulentes : une hypothèse de longueur de mélange est utilisée pour estimer la viscosité turbulente, et le modèle $k - \epsilon$ pour les champs turbulents, avec des variantes possibles, pas toujours clairement explicitées dans la littérature, d'ailleurs. Cette approche peut bien sûr être utilisée pour des systèmes plus simples et plus petits comme un écoulement en *tuyau* ou *canal*. Dans ce cas, des comparaisons avec des SND ou des expériences sont plus accessibles. Récemment, une étude systématique d'écoulements en tuyau avec le modèle $k - \epsilon$ a été menée au Lemta (Gisselbrecht 2015, Gisselbrecht & Plaut 2015). Des solutions « globales », de la couche externe près de la paroi jusqu'au centre du tuyau, ont été obtenues avec une méthode spectrale, et comparées aux SND d'El Khoury et al. 2013, cf. les figures ci-dessous pour la vitesse axiale, l'énergie cinétique turbulente et la dissipation turbulente, à nombre de Reynolds « modéré », $Re \simeq 5400$ construit sur la vitesse débitante et la diamètre (noir : modèle $k - \epsilon$; vert : SND) :



On propose de réaliser le même type d'étude dans des *écoulements en canal plan*, dans lesquels la courbure des parois est nulle, au contraire du cas du tuyau. À notre connaissance, la résolution systématique du modèle $k - \epsilon$ avec lois de parois n'a jamais été menée dans ce cas. Un code spectral sera développé avec Mathematica, et des comparaisons seront faites avec des SND dont les données sont disponibles sur le web, par exemple sur le site <http://torroja.dmt.upm.es/channels/data>. Une réflexion sur les *lois de parois* à utiliser sera menée à cette occasion, en s'appuyant justement sur les SND.

Références :

- EL KHOURY, G. K., SCHLATTER, P., NOORANI, A., FISCHER, P. F., BRETHOUWER, G. & JOHANSSON, A. V. 2013 Direct numerical simulation of Turbulent Pipe Flow at moderately high Reynolds numbers. *Flow, Turb. Comb.* **91**, 475-495.
- GISSELBRECHT, M. 2015 $k - \epsilon$ model of turbulent pipe flows. *Master 2 Thesis Report, Mines Nancy*.
- GISSELBRECHT, M. & PLAUT, E. 2015 High Reynolds number $k - \epsilon$ model of turbulent pipe flows with standard wall laws : first quantitative results. *Communication 67210 au 22^{ème} Congrès Français de Mécanique, Lyon*.
- VAN DER LAAN, M. P., SØRENSEN, N. N., RÉTHORÉ, P.-E., MANN, J., KELLY, M. C., TROLDBORG, N., SCHEPERS, J. G. & MACHEFAUX, E. 2014 An improved $k - \epsilon$ model applied to a wind turbine wake in atmospheric turbulence. *Wind Energy* **18**, 899-907.

Élèves ayant choisi ce sujet : Charif El Jazouli, Aboubakr Machrafi & Hugo Sanquer.

6 Évaluation de l'impact environnemental de la construction et rénovation de postes source ENEDIS

Tuteurs : Philippe Oudin, PR Associé à Mines Nancy
03 55 66 26 85

Philippe Sessiecq, MC UL
03 55 66 26 80

philippe.oudin@mines-nancy.univ-lorraine.fr philippe.sessiecq@mines-nancy.univ-lorraine.fr
Directeur de [SEMACO Environnement](#)

Mines Nancy, campus Artem, Nancy

Contact industriel : Fabrice Massot, Bureau Régional Ingénierie Postes Sources, ENEDIS, Nancy.

Descriptif du sujet :

Les *postes source* (photo ci-dessous) sont des systèmes du *réseau de distribution d'électricité* qui font la connexion entre les réseaux haute et moyenne tension.



Actuellement **ENEDIS** (ex. ERDF) rénove ses postes source en passant de systèmes électromécaniques à des systèmes numériques. Afin de mettre en œuvre une politique d'*amélioration de la construction des postes sources* prenant en compte des aspects liés à la *responsabilité sociétale*, ENEDIS souhaite disposer d'outils d'évaluations et de comparaisons de la *performance de ses constructions*, notamment, au niveau *environnemental*. On propose de s'attaquer à cette problématique en se focalisant par exemple, dans un premier temps, sur des « *bilans carbone* ».

Les différentes « missions » à accomplir dans le cadre de ce projet seraient les suivantes :

- ▷ Apprentissage de la technologie des postes sources
 - Passage de la technologie électromécanique à la technologie numérique
 - Principales règles de sécurité dans les installations électriques :
 - sécurité des personnels ;
 - mises à la terre des installations ;
 - systèmes de sécurité.
 - Visite d'un site
- ▷ Connaissance et benchmark des outils d'évaluation disponibles
- ▷ Application des outils sur un cas concret (poste source de Neufchâteau)
 - Méthodologie de collecte des données
 - Phase marché de consultation
 - Phase chantier
 - Calcul d'indicateurs environnementaux
 - Calcul d'un indice de confiance
 - Cas construction
 - Cas rénovation
 - Identification et définition des paramètres critiques
 - Optimisation de la construction au vu de l'utilisation des outils

Ce projet serait l'occasion d'acquérir des connaissances et compétences en *analyse des impacts environnementaux*, et de mettre en œuvre des connaissances liées au module du semestre 8 « *Génie électrique* », ce dans un *contexte industriel porteur*.

Élèves ayant choisi ce sujet : Hajar Bendahou & Rémi Loux.

A Memento gestion de projet

Nous comptons sur les élèves pour mettre en place, sous la conduite de leur(s) tuteur(s), de bonnes pratiques de *conduite de projet*.

En particulier, *après chaque séance projet* affichée à l'emploi du temps, *envoi rapide* (délai $\lesssim 24$ h) aux tuteurs et à tous les élèves du groupe d'un *bref compte rendu du travail effectué* pendant la séance, des *décisions prises* concernant la marche du projet (notamment, répartition des tâches entre les élèves du groupe - projet), enfin, des *propositions pour la séance projet suivante : demande ou rappel de RV*, avec ordre du jour, ou *proposition détaillée de travail en autonomie*.

B Consignes pour la bibliographie

Cette bibliographie doit être étoffée par rapport à celle (éventuellement) fournie ici. Pour la présenter, vous suivrez au moins dans ses grandes lignes la norme ISO 690, décrite sur [le document suivant](#)³. Vous pourrez aussi vous inspirer de la façon avec laquelle Emmanuel Plaut présente les bibliographies de ses polycopiés⁴.

3. D'Annie Laroche-Joubert ; lien explicite : <http://energie.mines-nancy.univ-lorraine.fr/bibliographie.pdf> .

4. Une variante de la norme ISO 690 dans laquelle l'année de publication, considérée d'une grande importance, est placée plus tôt, juste après les noms des auteurs. Notez que l'utilitaire bibtex couplé au traitement de texte scientifique LaTeX peut vous aider, cf. <http://emmanuelplaut.perso.univ-lorraine.fr/latex> .