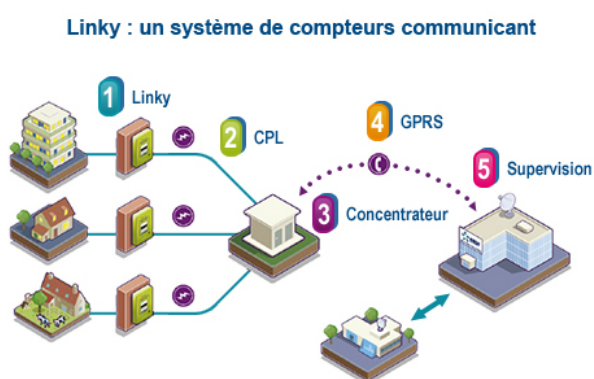
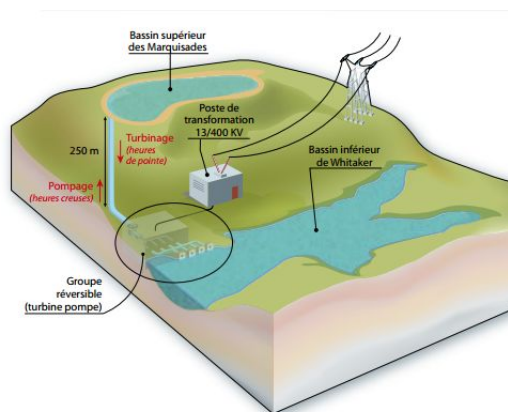

Rapport sur la semaine départementale de mars 2017



Accompagnateurs : Emmanuel Plaut, Mathieu Jenny

Introduction

La semaine départementale de mars 2017 a été l'occasion pour les élèves du département E&F de concrétiser les enseignements théoriques en visitant le monde industriel. Cette semaine départementale s'est tenue principalement à Revin, à Paris et dans les Renardières. Nous tenons à remercier **EDF** et **Setec** nos entreprises d'accueil. **EDF**, pour le temps accordé pour la visite de la centrale hydroélectrique de Révin, du centre de R&D des Renardières et le repas du mercredi midi. **Setec** pour la mobilisation de leur ingénieur Quentin Morel pour une journée afin de parler de l'hydroélectricité. Emmanuel Plaut, chef du département et Mathieu Jenny professeur dans le département étaient les accompagnateurs des 16 élèves présents. Une de nos camarades, Helen Jund était en échange Erasmus d'un semestre à KIT en Allemagne. Le rapport sera divisé en 3 parties correspondant successivement aux 3 jours de visite.

1 STEP **EDF** de Revin : lundi 20 mars

La station de transfert d'énergie par pompage (STEP) de Revin est la 3^{ème} centrale hydroélectrique de pompage turbinage de France en terme de puissance (800MW) derrière Montezic (910MW) et GrandMaison (1,8GW). La STEP de Revin fonctionne entre un bassin amont artificiel (Les Marquisades) et un bassin aval naturel (bassin de Whitaker). Les Marquisades d'un volume de 9 millions de m³ se situe 250 m plus haut que le bassin de Withaker de 8 millions de m³ de volume.

Kévin Perez du service des visites et Yassine Belhadj Khalifa - chef d'usine nous ont fait une présentation plus générale pour l'un et plus technique pour l'autre du site de Revin. Juste après, nous avons visité l'usine accompagnés par Kévin Perez. Visite très instructive qui nous a permis de voir concrètement à quoi ressemblent toutes les composantes d'une centrale hydroélectrique. Voici quelques notes qui nous paraissent essentielles.

L'eau est turbinée par 4 groupes réversibles de 200MW chacun pour un débit de l'ordre de 100 m³ . Les turbines Francis utilisées ont une vitesse de pointe de 300 tr/min et fonctionnent environ 5h30 la journée en mode turbine. Au dessus des turbines, il y a un moteur Poney d'une puissance de 200MW qui va entraîner la turbine en mode "pompe" jusqu'à sa vitesse de pointe. Sur chaque groupe, on a un code couleur : rouge, bleu, jaune, vert permettant de les différencier. Les notifications A=arrêt, D=disponible, P=pompage, T=turbinage, CP= compensateur synchrone (rééquilibrer la tension en hiver) permettent de savoir sous quel mode chaque groupe fonctionne. Entre l'alternateur et la turbine, il existe un film d'huile de 16000L sur le pivot afin d'annuler les efforts de frictions entre les 2 composantes. La centrale de Revin avec un rendement de 75 % (contre 60% en centrale thermique et 35% en nucléaire) est qualifiée de « pompier du réseau ». Piloté depuis Lyon, elle intervient principalement pour lisser les pics de consommation prévus par le réseau de transport d'électricité (RTE) avec un temps de réponse de 2 min. La STEP peut également relancer le réseau en cas de panne nationale. Elle est autonome et bénéficie pour cela d'un groupe auxiliaire de 2MW de puissance et de vitesse de pointe de 3000 tr/min prêt pour la relance en cas de Black-out. Pendant les heures creuses, la centrale fonctionne en pompage (7h20 environ) pour avoir assez de réserve pour les heures de pointe. La centrale dispose de nourrices de dénoyage (réservoirs d'air de 48 bars) pour



FIGURE 1 – À gauche dans la salle des machines - À droite au bord du lac supérieur

expulser toute l'eau avant le pompage et l'équilibrage de la pression amont-aval au niveau du robinet se fait au moyen de deux bypass. Cette centrale de 40 ans suit actuellement un grand programme de rénovation avec un montant alloué de 108 millions d'euros. Avec 35 permanents sur le site pour un seul ingénieur, la STEP démarre environ 10 à 15 fois la journée.

Nous disons un grand Merci à Kévin Perez et Yassine Belhadj Khalifa pour l'accueil chaleureux et pour toutes ces informations recueillies.

2 Bureau d'étude *Setec* : mardi 21 mars

Le bureau d'études hydroélectricité mené par Quentin Morel (N08) s'est déroulé dans les locaux de *Setec* près de la gare de Lyon. Ce fut l'occasion pour les élèves du département de vivre pleinement le quotidien d'un ingénieur d'études. Quentin Morel a du quitter Lyon tôt le matin pour se rendre à Paris pour le début de la journée.

Le bureau nous a donné une idée assez claire du travail attendu d'un ingénieur. Cette journée nous a permis d'avoir tous les paramètres nécessaires pour s'orienter ou non plus tard dans ce type de métier. L'encadrement était excellent. Une grande présentation des généralités a été faite avant le cas pratique. Plusieurs notions ont été abordées à savoir, les débits d'équipement, de réserve et d'armement. Si le premier désigne le débit maximal à dériver du cours d'eau, le deuxième lui représente la part obligatoire de réserve à ne pas turbiner du cours d'eau. Le débit d'armement est le débit minimal en dessous duquel il devient économiquement inintéressant de turbiner. Plusieurs types de centrales nous ont également été présentées avec leur rôle respectif : station au fil de l'eau où il n'existe pas de stockage ; les centrales à éclusés servant à réguler les consommations journalières ; les centrales avec lacs pour les régulations saisonnières et les STEP. À chaque type de chute et de débit est associé un type de turbine particulier : les Peltons pour des petits débits et les grandes hauteurs de chute, les Francis pour les moyennes hauteurs de chute et les débits plus importants et les Kaplan pour les basses chutes et les grands débits.

On a plus précisément étudié une petite centrale hydroélectrique d'une puissance maximale brut (PMB) de 2,2MW. Nous avons, grâce à des expressions empiriques de pertes

de charges, dimensionné notre conduite forcée afin d'avoir une perte de charge à moins de 10 % de la charge brute de la centrale (236 m). Il est en ressorti qu'un diamètre de 600 mm était un choix judicieux. À partir des données hydrologiques et de la connaissance des rendements (0.85 pour le groupe turbine-alternateur) on a calculé la productibilité attendue de la centrale de l'ordre de 6500 MWh/an. Un calcul technico-économique, un début d'optimisation et un calcul de taux de rentabilité de la centrale ont été abordés en fin de bureau d'étude.

Nous disons encore merci à Quentin Morel pour sa disponibilité et son déplacement.

3 *EDF* les Renardières : mercredi 22 mars

En 2016 *EDF* a consacré 572 millions d'euros uniquement pour la recherche et le développement. Ce budget conséquent permet aux ingénieurs et chercheurs de réaliser de grandes avancées technologiques en terme de consommation d'énergie dans de nombreux domaines : isolation thermique, organisation du réseau électrique, pompes à chaleur, panneaux photovoltaïques, maisons BBC, etc.. Il est étrange de se dire qu' alors qu'*EDF* réalise son chiffre d'affaire en vendant de l'électricité, *EDF* développe d'énormes moyens pour permettre aux utilisateurs d'en acheter le moins possible. Cependant, d'une part, une loi française oblige les entreprise comme *EDF* à optimiser la consommation d'énergie des utilisateurs et d'autre part, *EDF* est une entreprise consciente de la situation climatique actuelle et des enjeux que cette situation implique. *EDF* a donc pour objectif de maximiser la meilleure énergie qui soit : "celle que nous ne consommons pas !". Grâce à notre visite des trois laboratoires BestLab, Climatron et Concept Grid, nous avons pu comprendre comment *EDF* comptait atteindre les objectifs environnementaux dans un futur proche.

Nous avons commencé notre visite du site *EDF* Les Renardières situé près de Fontainebleau par une présentation générale d'*EDF* R&D et plus particulièrement du centre de R&D Les Renardières à travers l'histoire. Cette présentation nous a permis de voir les domaines très diversifiés de l'activité R&D d'*EDF*, ainsi que les différents équipements très pointus dont dispose actuellement le site de R&D comme par exemple le microscope TITAN permettant entre autre de voir et d'étudier des bétons au niveau atomique. Cette introduction à la visite du site nous a posé les problématiques auxquelles *EDF* R&D tente de répondre : produire un mix énergétique toujours plus décarboné mais également compétitif sur le marché de l'énergie, proposer des nouveaux services innovants pour les clients d'*EDF* et préparer les systèmes électriques de demain.

Notre première visite au *laboratoire BESTLAB* concernait l'étude thermique des bâtiments. Grâce à des cellules de dimensions 3x3x3 m³ pour parois amovibles, il est possible de tester différentes parois de natures très différentes. Nous avons vu deux types de parois :

- Les parois passives dont le rôle est de limiter au maximum les échanges de chaleur entre la cellule et le milieu extérieur.
- Les parois actives équipées d'un circuit contenant un fluide caloporteur permettant de récupérer l'énergie thermique du milieu externe pour la restituer dans la cellule.



FIGURE 2 – Devant des installations du laboratoire BESTLAB

Ces différents types de parois sont analysées sur des périodes d'environ 1 an grâce à de nombreux capteurs (thermocouples, hygromètres...) disposés sur les parois, dans les parois et dans la cellule. La période d'un an permet d'avoir des données correspondant à toutes les saisons. Enfin, ces données sont mises en corrélation avec les données météo mesurés par une station météo sur le toit du laboratoire. Cela permet d'avoir une caractérisation précise de chaque paroi et de déterminer si elle peut être avantageuse d'un point de vue énergétique pour les constructions de demain. Ce laboratoire concentre aussi ses recherches sur les panneaux photovoltaïques et plus particulièrement l'impact de la géométrie des toitures sur la production en électricité de ces panneaux.

Nous avons ensuite continué notre visite dans un laboratoire du même département ENERBÂT appelé *Climatron*. Ce laboratoire est composé d'une trentaine de chercheurs dont une partie axe ses recherches sur les pompes à chaleur (PAC). C'est ce bâtiment consacré aux pompes à chaleur que nous avons visité. Malheureusement, nous n'avons pas pu voir d'expériences en cours. Mais nous avons pu en apprendre beaucoup grâce à un ingénieur, M. Emmanuel Chabut, sur la qualité en terme de production d'énergie décarbonée et renouvelable des PAC. En effet, les PAC représentent aujourd'hui la deuxième source d'énergie renouvelable. Le seul défaut des PAC est qu'elles héritent d'une mauvaise image à cause des systèmes de climatisation très énergivores des années 1970. Il y a donc, au delà de l'aspect technique un véritable travail sur le design, le bruit et la communication pour que la pompe à chaleur entre de plus en plus dans les foyers des utilisateurs français.

Après un excellent déjeuner, nous avons terminé la visite du site par un aspect différent d'*EDF*, le laboratoire *Concept Grid*. Ce laboratoire concentre ses recherches sur l'organisation des réseaux électriques français du futur. Ce laboratoire né en 2013 est constitué d'un "village" tentant de recréer une petite consommation d'électricité, d'un réseau électrique sous-terrain basse tension pour alimenter les habitations, d'un réseau moyenne tension équipé de systèmes permettant de simuler des grandes longueurs de fils, ainsi que de moyens de production d'énergie variable du type éoliennes et panneaux photovoltaïques. Le laboratoire dispose aussi d'appareils électriques puissants permettant de simuler divers effets. Grâce à tout ce dispositif, les chercheurs du laboratoire *Concept Grid* tentent de trouver des solutions pour les réseaux électriques de demain. Comment satisfaire la demande plutôt constante - perturbée par quelques pics de consommation dans la journée - avec des sources d'énergies variables dépendant de paramètres que nous



FIGURE 3 – Devant le laboratoire 400 000 Volts

ne contrôlons pas (vent, soleil...) ? Un exemple nous a été présenté : le compteur électrique Linky, compteur communicant qui à terme sera installé dans toutes les habitations par obligation. Ce compteur permettra à **EDF** de réguler lui même en partie la consommation des particuliers. En effet, si la demande en électricité est élevée à une certaine heure de la journée tandis que la production est faible, **EDF** pourra arrêter grâce à ce compteur quelques appareils électriques non essentiels chez les particuliers volontaires, par exemple, des radiateurs. Ce dispositif a pour but de lisser la courbe de la demande en électricité.

La visite du site d'**EDF** R&D Les Renardières a été pour nous très intéressante dans le sens où nous avons pu nous rendre compte de la multiplicité des facteurs qui feront l'énergie de demain. Nous pensons souvent que seule la production d'électricité est importante dans la transition énergétique, or, comme nous l'avons vu, les problématiques sont bien plus vastes. De plus, les solutions sont parfois déjà présentes comme la pompe à chaleur mais des raisons autres que techniques freinent son développement.

Nous tenons à remercier sincèrement, Mme Anne Caron de la direction de la communication du site des Renardières, pour l'accueil chaleureux. Nous remercions Mme Annick de Chenay pour les explications et présentations de qualité des laboratoires du site et des enjeux principaux d'**EDF** ; présentation qui nous a permis de mieux nous rendre compte de l'importance de la R&D pour l'économie d'énergie. Enfin, nous adressons nos remerciements à Laurent Perez pour sa présence et pour ses explications complémentaires très précises, notamment sur le fonctionnement global du réseau électrique français et sur les enjeux liés à la distribution d'électricité.