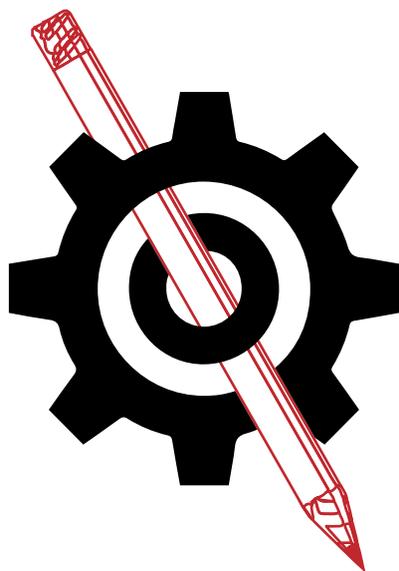


Revue Scientifique  
des  
**Ingénieurs Industriels**



ECAM  
GRAMME (HELMo)  
École d'Ingénieurs HELHa  
PIERRARD (HENALLUX)

Bruxelles  
Liège  
Mons & Charleroi  
Virton

Édition n°36 (2022)  
[www.isilf.be](http://www.isilf.be)

Revue scientifique n°36 – juin 2022



**Revue Scientifique**  
des  
**Ingénieurs Industriels**

**ECAM  
GRAMME  
ISICht  
PIERRARD**

**Bruxelles  
Liège  
Mons et Charleroi  
Virton**

**Edition n° 36  
mai 2022**



Cette revue peut être obtenue auprès des Instituts ci-dessous :

**ECAM**

*Haute École ICHEC-ECAM-ISFSC*

Promenade de l'Alma, 50

1200 BRUXELLES

Tél : +32 (0)2/541.48.50 [www.ecam.be](http://www.ecam.be)

Fax : +32 (0)2/541.48.59 E-mail : [secretariat@ecam.be](mailto:secretariat@ecam.be)

**HELMo-Gramme**

*Haute École Libre Mosane*

Quai du Condroz, 28

4031 ANGLEUR (LIEGE)

Tél : +32 (0)4/340.34.30 [www.helmo.be/gramme](http://www.helmo.be/gramme)

Fax : +32 (0)4/343.30.28 E-mail : [gramme@helmo.be](mailto:gramme@helmo.be)

**École d'Ingénieurs - HELHa**

*Haute École Louvain en Hainaut*

Chaussée de Binche, 159

7000 MONS

Tél : +32 (0)65/40.41.46 [www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel](http://www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel)

Fax : +32 (0)65/34.04.52 E-mail : [tech.mons@helha.be](mailto:tech.mons@helha.be)

Grande-Rue, 185

6000 CHARLEROI

Tél : +32 (0)71/41.94.40 [www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel](http://www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel)

Fax : +32 (0)71/48.92.29 E-mail : [tech.mons@helha.be](mailto:tech.mons@helha.be)

**École d'Ingénieurs de Pierrard-Virton**

*Haute École de Namur-Liège-Luxembourg*

Pierrard, rue d'Arlon, 112

6760 VIRTON

Tél : +32 (0)63/58.89.40 [www.henallux.be/ingenieur-pierrard](http://www.henallux.be/ingenieur-pierrard)

Fax : +32 (0)63/57.67.62 E-mail : [ingenieur.virton@henallux.be](mailto:ingenieur.virton@henallux.be)

Une version plus développée des articles est accessible en ligne sur le site de la revue :  
[www.isilf.be](http://www.isilf.be)

Éditrice responsable :

V. DE KEYSER

Secrétaire générale de la FédESuC

Avenue Mounier, 100

1200 BRUXELLES

Tél : +32 (0)2/256.70.51

Fax : +32 (0)2/256.70.55

Prix : 10 euros.



## **Ingénieur industriel, un titre toujours d'actualité ?**

Avant toute tentative de réponse dans le titre de cet éditorial, une brève remise en contexte s'impose.

Depuis l'origine du pays et son implication dans l'industrialisation, les ingénieurs sont nombreux et jouent un rôle économique et social très important. C'est dans la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle que se mettent en place les premières formations d'ingénieur en Belgique, avec un double réseau : d'une part étatique et de l'autre industriel. En 1890, une législation est mise en place rattachant une partie de ces écoles d'ingénieurs aux universités, créant de facto un clivage entre ingénieurs issus d'une université, et les ingénieurs civils formés hors université. Ces institutions non universitaires sont situées dans les bassins industriels et forment des ingénieurs d'application. Ces écoles d'ingénieurs techniciens prolifèrent tellement que les associations d'ingénieurs civils, autour des années 1930, font promulguer des lois pour protéger les titres d'ingénieur civil, d'ingénieur agronome, d'ingénieur des industries agricoles (tous trois abrégés Ir.), d'ingénieur technicien (abrégé It.) et d'ingénieur commercial. À cette époque, huit établissements – en Belgique – sont qualifiés pour délivrer le titre d'ingénieur technicien.

À l'issue d'une réflexion de dix ans, une nouvelle restructuration de l'enseignement technique est mise en route. Les ingénieurs techniciens disparaissent : la loi du 18 février 1977 crée un nouveau titre professionnel et grade académique d'ingénieur industriel (en abrégé : Ing.). Les études passent à quatre ans pour tous et sont de niveau universitaire.

Ces différents instituts subsistent une vingtaine d'années avant que le décret du 5 août 1995 sur les hautes écoles ne les intègre dans des ensembles plus importants. Cette intégration a fait perdre de la visibilité aux ingénieurs industriels, les formations de Master étant très minoritaires dans les hautes écoles. Cela a été renforcé par la volonté de la plupart d'entre elles de mettre en avant la dénomination de la Haute École et de gommer les prénoms des institutions d'origine.

Le décret du 31 mars 2004, dans le contexte du processus de Bologne, conduit à prolonger d'un an les études menant au grade de Master en Sciences de l'ingénieur industriel en Fédération Wallonie-Bruxelles.

Voilà la genèse de la création du titre d'ingénieur industriel et l'explication de son contexte. Pour compléter ce tableau descriptif, il faut ajouter que la population d'ingénieurs industriels a considérablement diminué ces dernières décennies. Elle était au plus haut jusqu'en 1993-1994 (entre 2150 et 2250 étudiants, toutes institutions francophones confondues) et a diminué fortement par la suite comme l'indique la figure ci-dessous.

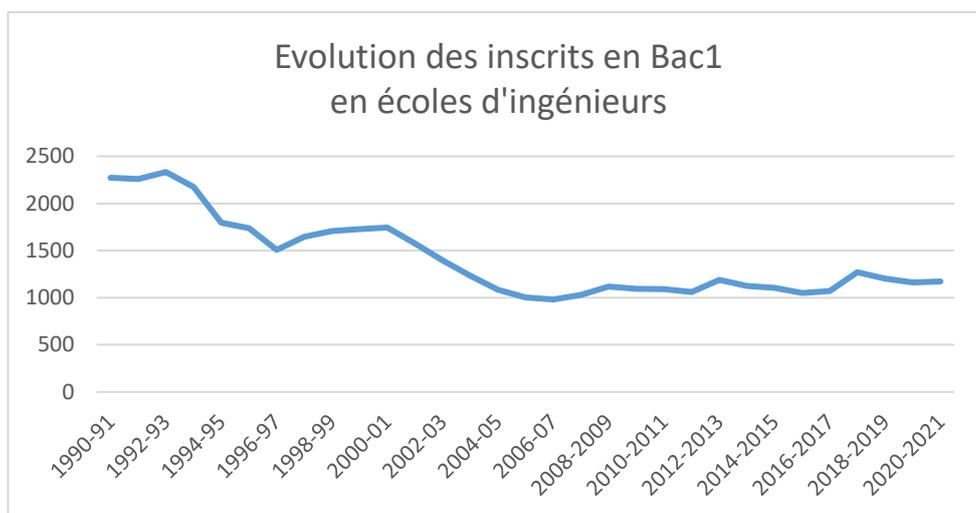


Figure 1: Nombre total d'étudiants en BAC1 des écoles d'ingénieurs industriels en FWB – Chiffres issus de l'ADISIF et d'INGEFOR.

Face à cette diminution, INGEFOR, l'association des représentants des Écoles d'ingénieurs industriels qui s'est créée en 2018, s'est posé la question des causes éventuelles d'une telle diminution.

Une des causes envisagées a été : le terme industriel a-t-il encore toute sa raison d'être en 2022 ? Le contexte du choix effectué en 1977 lors de la création du titre d'ingénieur industriel n'est peut-être en effet plus d'actualité.

Le terme industriel se réfère à l'ensemble des activités économiques qui produisent des biens matériels par la transformation et la mise en œuvre de matières premières et induit, pour la plupart du public, une connotation d'industrie lourde tel que la sidérurgie, la pétrochimie, etc. Mais le monde a bien changé : on est passé du monde des industries au monde des entreprises avec l'émergence de sociétés de services et de nouvelles disciplines telles que l'informatique, la gestion environnementale, l'électronique, etc. Il y a d'ailleurs un assentiment général pour reconnaître que certaines orientations d'ingénieurs industriels « collent » moins bien à ce terme « industrie ».

Cette spécificité d'adjectif accolé au terme ingénieur est une particularité toute belge avec la coexistence en plus de deux titres liés à deux adjectifs différents : ingénieur civil et ingénieur industriel. Ces qualificatifs, pour l'un comme pour l'autre, ne sont pas très illustratifs de la réalité du métier. Il n'est déjà pas facile pour nos jeunes de choisir leurs études alors quand la dénomination des diplômes ne les y aident pas, tout se complique.

À l'heure de l'ingénieur européen, ces adjectifs ont-ils encore un sens ? Ne vaudrait-il pas mieux qu'une formation soit validée si elle répond au référentiel de compétence européen des ingénieurs et que l'on ne garde que le terme ingénieur ?

Suite à ces réflexions et suivant l'exemple des ingénieurs agronomes qui sont devenus des bioingénieurs, nous avons discuté de la possibilité de changer, de compléter ou de supprimer le terme industriel.

L'audit CTI-AEQES (2015-2016) nous avait d'ailleurs fait remarquer dans son analyse transversale que nous n'avions pas assez de souplesse dans le changement de dénomination, ce qui nous empêchait d'avoir des dénominations en phase avec la réalité de terrain.

Changer ou supprimer le terme industriel, quels sont les avantages et inconvénients de chaque possibilité ?

- Changer l'adjectif nous permet d'être plus en phase avec l'actualité, mais ce n'est pas chose aisée car tout d'abord il faut qu'il y ait un assentiment général de toutes les écoles d'ingénieurs. Il faudrait aussi éviter de choisir un nouveau terme qui deviendrait obsolète dans quelques années. Ingénieur industriel 4.0 en est un bel exemple. Plus moderne, il est vrai et plus attractif mais avec une obsolescence programmée.
- Supprimer le terme industriel en ne gardant que la dénomination ingénieur semble moins sujet à de futures variations des thématiques d'actualité porteuses et aurait le mérite d'être un vocable plus international. Certains pourraient cependant arguer que cela rendra encore moins compréhensible pour nos futurs recrutés la dissociation d'avec les ingénieurs civils. Mais est-ce vraiment les adjectifs accolés à chaque formation d'ingénieur qui font la différence ? Lors de son analyse transversale de 2015-2016, CTI -AEQUES signale que la différence entre les deux profils paraît bien ancrée dans l'esprit du public, des étudiants, des enseignants et des employeurs et que ces formations sont habilitées comme telles par le gouvernement de la Communauté française de Belgique, sans qu'il soit possible de trouver des textes réglementaires spécifiant concrètement les compétences attendues et différenciées des deux types de cursus. Elle nous conseille donc de définir plus clairement les compétences respectives et les spécificités des différents

types de formation d'ingénieur de façon à faciliter les choix des futurs étudiants mais aussi la reconnaissance de leurs parcours.

On pourrait ajouter que perdre notre adjectif engendrait peut-être encore plus de confusion, parce que le terme ingénieur se met actuellement à tous les modes : ingénieur social, ingénieur de gestion, ingénierie juridique, etc.

En tous les cas, tout changement éventuel nous fera perdre un nom de référence connu et le fondement de la création de cette formation. Changer de noms impliquera toujours pour nos diplômés la sensation de ne plus avoir d'appartenance et c'est antinomique avec le principe d'un changement de dénomination.

Aucune solution n'est donc parfaite et si le but premier est d'augmenter le recrutement, une étude s'impose pour voir si cela peut avoir un impact positif sur ce point. Si le deuxième est de coller à la réalité de l'actualité, la question doit se poser : nos étudiants travaillent-ils plus dans les entreprises et le secteur tertiaire que dans les industries ?

Il faut aussi se méfier d'une analyse trop hâtive qui consisterait à dire que le terme industriel est la cause de tous nos maux, car si on observe la courbe des inscriptions, il est évident que le passage en Haute École et le passage en cinq ans ont générés eux aussi des diminutions de population.

On peut de plus ajouter que notre enseignement est de niveau universitaire mais n'est pas assez visible au niveau de l'enseignement secondaire où l'on fait plus souvent référence aux universités qu'aux hautes écoles.

Se remettre en cause est toujours une bonne démarche qualité car rien n'est jamais acquis. La difficulté est de garder son ancrage et ses racines tout en s'adaptant au monde qui nous entoure. Ce ne sont pour le moment que des réflexions, des idées et des débats mais qui nous font poser de bonnes questions sur les formations dont nous avons la responsabilité.

Ir V. SERONT  
Directrice de HELHa Mons Charleroi

## Sources

- [1] VÉRIN H., « *Ingénieur* » : « *L'identité de "l'ingénieur" : quelques repères historiques* »  
Recherche & Formation : Les sciences humaines et sociales dans la formation des ingénieurs, 29, 1998, pp. 11-20.  
Adresse URL : [https://www.persee.fr/doc/refor\\_0988-1824\\_1998\\_num\\_29\\_1\\_1521](https://www.persee.fr/doc/refor_0988-1824_1998_num_29_1_1521)

- [2] BAUDET J. C., *Situation des Ingénieurs en Belgique : Note de synthèse*  
Sociétés contemporaines : Ingénieurs d'Europe et du Proche-Orient, 6, 1991,  
pp. 11-20.  
Adresse URL : [https://www.persee.fr/doc/socco\\_1150-1944\\_1991\\_num\\_6\\_1\\_1002](https://www.persee.fr/doc/socco_1150-1944_1991_num_6_1_1002)
- [3] *Ingénieur* (consulté le 22 avril 2022).  
Adresse URL : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ing%C3%A9nieur>
- [4] DIAS DE FIGUEIREDO A., *De la nature historique des pratiques d'ingénierie*  
Revue d'anthropologie des connaissances, 8 (2), 2014, p. 245-278.  
DOI : <https://doi.org/10.3917/rac.023.0245>  
Adresse URL : <https://www.cairn.info/revue-anthropologie-des-connaissances-2014-2-page-245.htm>

# TABLE DES MATIERES

<b>Éditorial : Ingénieur industriel : un titre toujours d'actualité ?</b> <i>par V. SERONT</i>	
<b>Définition des modèles de consommation énergétique d'un bâtiment et dimensionnement d'un système de stockage d'énergie,</b> <i>par N. DE MEEÛS D'ARGENTEUIL, J. PELLETIER, F. DE BRUYNE</i>	1
<b>Analyse de la résistance d'un caisson de vidage horizontal (approche par éléments finis - SPH),</b> <i>par Y. VAISSAUD</i>	7
<b>Caractérisation du premier prototype d'hydrolienne fluviale en Suisse,</b> <i>par G. CARPENTIER, C. MÜNCH-ALLIGNÉ, V. KELNER</i>	13
<b>Étude de l'effet radiosensibilisant des nanoparticules d'oxyde de fer sur une lignée cellulaire cancéreuse</b> <i>par C. VANDERDONCK, I. TERNAD, D. STANICKI, S. LAURENT</i>	21
<b>Mise en place et évaluation d'un outil BIM simplifié en vue d'améliorer le suivi d'un projet de construction,</b> <i>par N. WALLEYN SPITS, C. HUENAERTS, F. ELAERTS</i>	27
<b>Contribution à l'autoconsommation de l'électricité produite par deux installations photovoltaïques via batteries, contrôle de la production d'eau chaude sanitaire et prises intelligentes,</b> <i>par V. HANUS</i>	33
<b><u>LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES</u></b>	39
1. Automatique	
2. Chimie	
3. Construction	
4. Electricité	
5. Electronique	
6. Environnement	
7. Géomatique	
8. Gestion	

9. Informatique
10. Mathématiques appliquées
11. Mécanique
12. Mécanique des fluides et thermodynamique
13. Physique

Remerciements

64



# Définition des modèles de consommation énergétique d'un bâtiment et dimensionnement d'un système de stockage d'énergie

Ing. N. DE MEEÛS D'ARGENTEUIL – Ing. J. PELLETTIER –  
Dr. F. DE BRUYNE  
ECAM – Bruxelles

## 1. Introduction

Face à une population mondiale croissante, l'augmentation de consommation d'électricité et d'émissions de gaz à effet de serre vient quotidiennement défier le domaine de l'énergie. Avec l'expansion des énergies renouvelables et la décentralisation de la production, il devient impératif d'apprendre à utiliser l'énergie de manière plus efficace, plus fiable et avec moins de gaspillage pour contrer leur intermittence.

Cet objectif est l'un des premiers de l'entreprise GreenWatch, au sein de laquelle a été mené ce projet de fin d'études. L'entreprise, ayant installé des panneaux PV<sup>1</sup> au mois de février 2021, désire maximiser l'autoconsommation et l'autoproduction de son installation en s'équipant d'un système de stockage par batteries. L'intérêt futur de ce projet est de développer des stratégies de contrôle pour ces batteries afin de réduire les flux énergétiques vers le réseau et d'améliorer l'autoconsommation de l'électricité produite par l'installation PV.

L'implémentation de stratégies de contrôle nécessite l'utilisation de Machine Learning pour anticiper la production des panneaux PV ainsi que la consommation d'électricité. L'apport principal de ce travail de fin d'études réside dans l'analyse des données historiques de consommation du bâtiment de GreenWatch et dans la construction de modèles prédictifs pour la consommation.

## 2. Création de modèles prédictifs

La construction de l'algorithme prévisionnel a été réalisée selon une démarche en 4 étapes. En premier lieu, les données brutes quart-horaire provenant de l'historique

---

<sup>1</sup> PV : photovoltaïques

du compteur électrique du bâtiment ont été filtrées et nettoyées. Différents patterns de consommation ont été ciblés à travers plusieurs analyses. Ensuite, une sélection de modèles prédictifs a été réalisée et les entrées pertinentes de ces modèles ont été sélectionnées. En troisième lieu, une phase de test a été menée sur deux types de modèles en utilisant pour chacun d'eux trois ensembles de données différents. Enfin, une procédure de validation a été appliquée afin de comparer les performances des modèles étudiés.

## 2.1. Analyse de données

La première analyse s'est portée sur l'évolution de la consommation au cours des années 2012-2019. Ceci a permis de démontrer la présence d'un pattern relativement régulier, marqué par certaines différences en fonction des saisons. Un regard plus approfondi sur les données de 2019 a été posé de sorte à en retirer davantage d'informations. Les données de cette année-là ont été triées par quart d'heure et séparées ensuite en deux ensembles pour distinguer les différences dues aux saisons.

Une analyse statistique a montré que l'écart-type moyen et maximal des données hivernales était nettement plus élevé que celui des données d'été. Ceci était d'autant plus marqué pour les heures de jour (6h00 – 18h00).

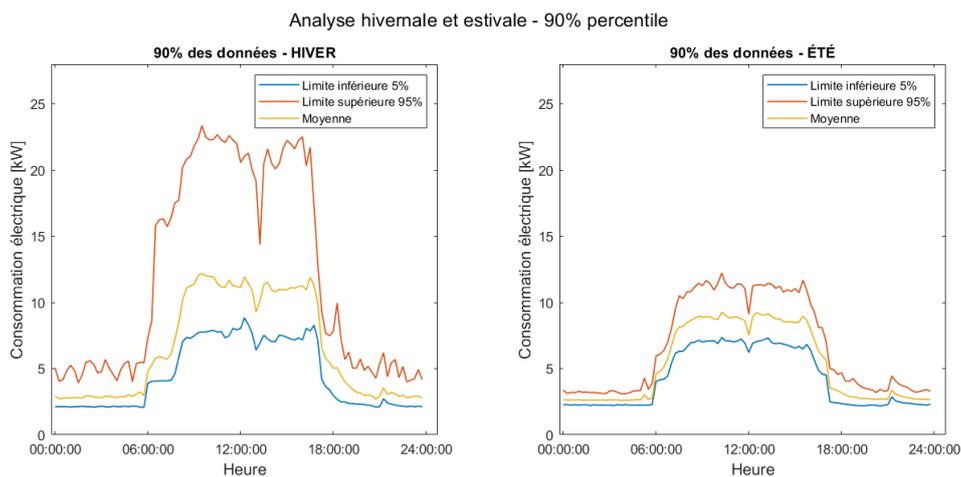


Figure 1 : Analyse percentile des données hivernales et estivales de 2019

La Figure 1 présente une analyse percentile 90 des données hivernales et estivales de 2019. Grâce à cette analyse, la présence d'une distribution non-normale a été détectée dans les données d'hiver.

Afin de comprendre l'origine de cette moyenne non-centrée, un tableau listant les principales charges électriques du bâtiment a été dressé. La présence de deux chauffages électriques de 6/12 kW a expliqué la provenance de certains pics de consommation ne survenant qu'en hiver. Différents patterns classiques ont également pu être classifiés (jour de semaine, congés, weekends, etc.) et cela a permis de retirer davantage d'informations sur les données.

## 2.2. Choix des modèles théoriques

La création d'un algorithme prédictif se montrant utile pour l'optimisation future de l'utilisation du système de stockage, il a fallu définir un horizon de prédiction. En première approche, un modèle à horizon de 24 h a été pensé. Les entrées statiques et dynamiques jugées pertinentes pour la prédiction de consommation sont listées ci-dessous :

### Prédicteurs externes (statiques)

- Heure de la journée
- Jour de la semaine
- Week-end
- Jours fériés
- Mois de l'année
- Température extérieure

### Prédicteurs internes (dynamiques)

- Consommation du jour précédent
- Consommation de la semaine précédente

Sur base de cette structure ont été essayés deux types de modèle très distincts. Le premier modèle est une régression linéaire et le deuxième un réseau de neurones. Ce dernier est un DNN<sup>2</sup> de type feedforward<sup>3</sup> avec 20 couches cachées. La méthode de Levenberg-Marquardt a été utilisée pour la minimisation de la fonction de coût et l'adaptation des valeurs des pondérations et des biais du modèle. Ensuite, plusieurs essais ont été menés en utilisant différents ensembles de données pour tester les performances de l'algorithme.

## 2.3. Résultats

La Figure 2 présente la comparaison entre les données réelles de validation et les données de prédiction obtenues via le réseau de neurones. Il s'agit ici de la configuration présentant les meilleurs résultats. Il est à noter que ces vérifications de prédiction ont été réalisées sur les données d'été car suite à une analyse des estimations de données de production photovoltaïque, il a été jugé moins utile d'obtenir de bons

---

<sup>2</sup> DNN : Deep Neural Network (Réseau de neurones profond)

<sup>3</sup> Feedforward : propagation avant

résultats de prédiction pour l'hiver. En effet, la production PV en Belgique étant faible à cette période-là, il serait inutile de tenter d'optimiser l'utilisation de la batterie.

Les performances de ce modèle ont été confirmées via le calcul de l'erreur quadratique moyenne (RMSE = 0,648), le pourcentage d'ajustement (Fit = 75,02 %) ainsi que par une analyse d'autocorrélation des résidus.

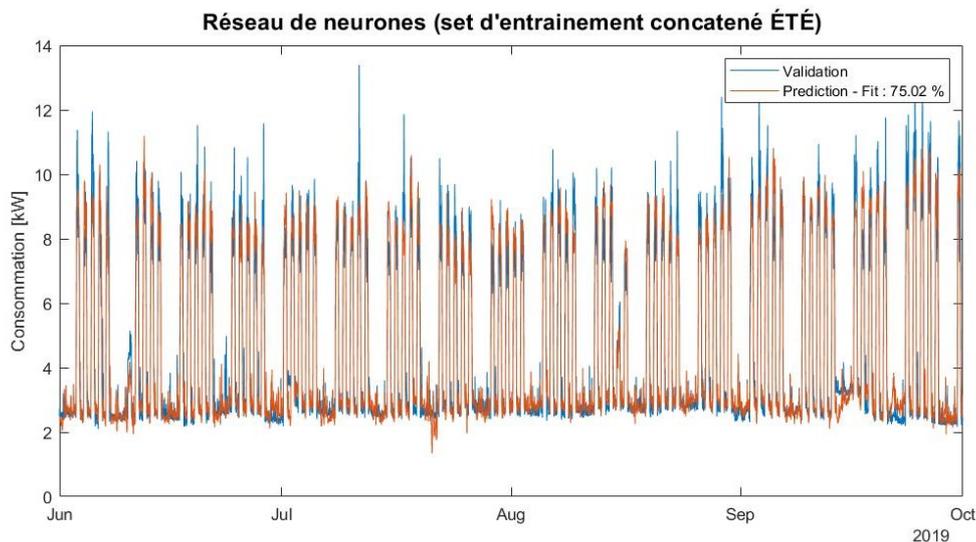


Figure 2 : Résultat réseau de neurones avec ensembles de données concaténés (ÉTÉ)

Ce modèle de réseau de neurones devra être utilisé en connaissance de cause, car certaines situations non-occasionnelles, telle que la présence d'un jour de weekend également férié, viennent parfois fausser les performances des prévisions.

### 3. Conclusion

Ce travail de fin d'études avait pour premier objectif de définir des modèles de consommation et production énergétique en se basant sur des données historiques. Cela a permis d'obtenir des patterns moyens saisonniers, de comprendre les modes de consommation de l'entreprise et de préparer la construction d'un modèle prédictif pour un horizon de prédiction de 24 h.

Les essais réalisés sur les modèles de prédiction ont été concluants. L'utilisation de différents ensembles de données a permis de comprendre l'importance d'utiliser des données suffisamment informatives pour obtenir une bonne prédiction. Le réseau de

neurones (modèle non-linéaire) a permis d'obtenir de meilleurs résultats que le modèle de régression linéaire. Grâce aux non-linéarités et à la complexité de sa construction, le réseau de neurone est capable d'approximer les zones particulières des données de consommation. Certaines analyses supplémentaires auraient pu être réalisées pour la validation du modèle. En effet, le réseau de neurones fonctionnant de manière itérative pour minimiser la fonction de coût, est sujet au surapprentissage. Il aurait été intéressant de mettre en parallèle l'évolution de la fonction de coût d'identification et de validation au cours des itérations. Ces modèles seront utilisés lorsque les stratégies de contrôle de batteries seront mises en place.

Dans le cadre de cette étude, les modèles ont été essayés pour un horizon de prédiction de 24 h et les prédictions finales se sont concentrées sur les périodes estivales. Dans une future étude, il serait également important de tester ces modèles sur des données hivernales et de réaliser quelques modifications pour éventuellement obtenir une prédiction à plus long terme. Une technique de sélection d'entrées pertinentes pourrait également être utilisée.



# Analyse de la résistance d'un caisson de vidage horizontal (approche par éléments finis - SPH)

M. Sc Y. VAISSAUD  
HENALLUX - Pierrard – Virton

## 1. Objectif

Cette recherche a été menée dans le cadre du projet DeltoPull. Il est réalisé au sein d'une collaboration entre les centres de recherche CeREF et FoRS, les partenaires industriels DTM et Hoslet, et le Pôle de Compétitivité Logistics in Wallonia [1]. Le projet vise notamment à construire des prototypes de semi-remorque équipés d'un bouclier qui coulisse le long du caisson de la semi-remorque pour assurer la décharge du contenu (voir figure 1). Ce système de décharge, alternative du bennage, présente l'avantage de réduire le risque de basculement.

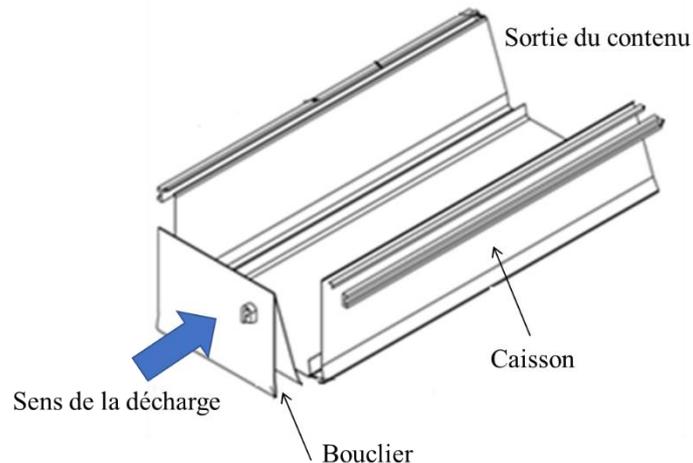


Figure 1 : Schéma de la semi-remorque (CeREF)

L'objectif de cette étude est de vérifier la résistance mécanique de la semi-remorque pendant un déchargement en utilisant la méthode des éléments finis. Cette étape doit donc être simulée de manière précise pour garantir la résistance mécanique du caisson (respect de la limite élastique de l'acier).

## 2. Approche

La distribution de charge la plus contraignante pour la structure est attendue au début de la décharge avec de la terre [2]. Modéliser la terre est complexe : elle est compactée, cisailée, elle glisse, et le caisson du poussoir se déforme. C'est pourquoi l'analyse est divisée en deux étapes, ce qui permet de ne modéliser qu'un seul phénomène à chaque étape.

Étape 1 : Calcul de la pression sur la surface du caisson au démarrage

Le bouclier pousse la charge (terre). Le caisson et le bouclier sont modélisés avec des éléments rigides, ce qui permet de réaliser un calcul plus rapide qu'avec des éléments solides déformables. À partir de ce calcul, on sélectionne le moment où la sollicitation est la plus importante (au démarrage). Ensuite, la distribution de la pression de la terre sur la surface du caisson est extraite pour l'étape suivante.

Étape 2 : Calcul de la résistance structurelle

La charge créée par la terre concassée, calculée à l'étape précédente, est appliquée sur la surface de la structure du caisson discrétisée en utilisant les éléments de coque. Ce calcul par éléments finis permet de connaître la répartition des contraintes au sein du caisson.

## 3. Calcul de la pression sur la surface du caisson au démarrage

### 3.1. Choix des éléments finis et de leurs paramètres

Pour cette première étape, le caisson et le bouclier sont rigides et la terre est déformable. Le bouclier translate au sein du caisson et pousse la terre. Cette dernière se compacte et glisse au sein du caisson une fois que la force tangentielle dépasse sa limite de friction. La charge statique du chargement de terre (au total 32 tonnes) est répartie initialement de manière homogène sur la surface horizontale du caisson. Après son tassement, on applique le déplacement horizontal du bouclier à une vitesse constante (0,05 m/s).

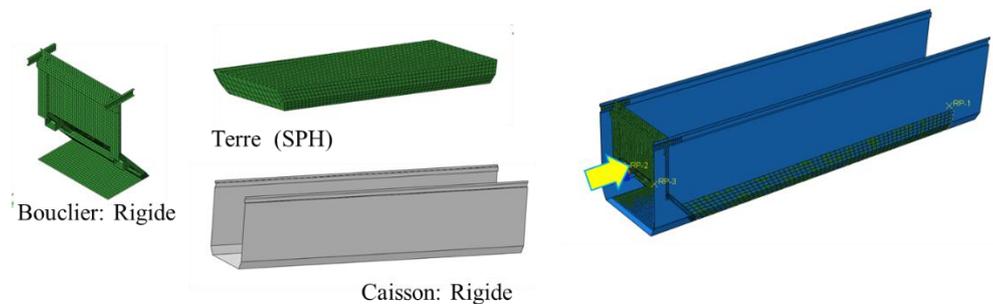


Figure 2 : Assemblages dans le modèle SPH

### **3.2. Propriétés mécaniques de la terre**

Pour la première étape, des variations du paramètre « cohésion » de la terre dans la loi de Mohr-Coulomb et du coefficient de frottement sont étudiées. Ces propriétés sont cohérentes avec la littérature [3].

Le coefficient de friction varie entre 0,1 et 0,5 ; sa variation modifie la force de décharge tangentielle nécessaire.

Cette étape permet de connaître l'ordre de grandeur des propriétés de la terre et le coefficient de frottement qui aboutissent à un aspect du déchargement simulé semblable à celui observé dans la réalité.

### **3.3. Choix de la méthode de simulation de la terre**

Vu la difficulté d'adaptation de taille du maillage pour éviter la fuite à l'interface du contact avec la région lagrangienne (bouclier), et le temps de calcul important, la méthode SPH (smoothed particle hydrodynamic) est utilisée à la place de la méthode CEL (Coupling Euler Lagrangean) pour modéliser la terre.

### **3.4. Résultat du calcul SPH**

L'aspect de la déformation et la force résultante sur le bouclier sont extraits pour toutes les combinaisons de caractéristiques de terres étudiées. Ces résultats numériques sont comparés avec des observations réalisées lors de déchargements d'un petit prototype de caisson. Puisque la terre cohésive à faible friction semble cohérente à cette observation, ce modèle de terre est utilisé pour la suite de l'analyse.

## **4. Calcul de la résistance structurelle**

### **4.1. Modélisation en coque**

Comme le caisson est construit en tôles soudées, les éléments de coques sont utilisés pour la simulation par éléments finis. La taille de la maille est choisie entre 20 et 50 mm pour garder la même précision qu'une étude précédente [1].

### **4.2. Distribution de la charge à appliquer pour l'analyse de résistance**

La distribution de pression appliquée au caisson provient des résultats de la terre cohésive (figure 3), au moment du maximum de la résultante appliquée au bouclier (à environ 2,5 secondes).

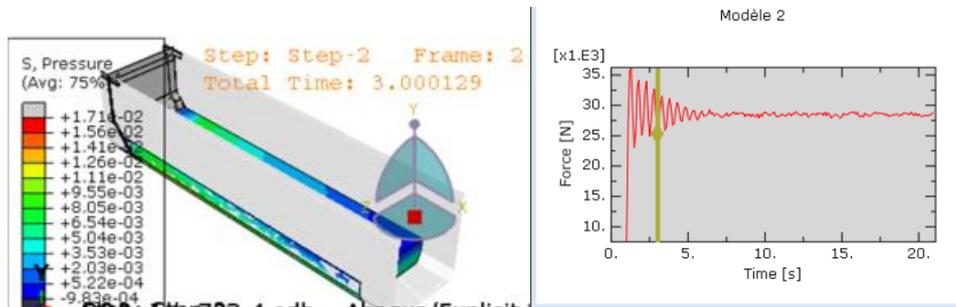


Figure 3 : Déformation et évolution de de force de réaction horizontale de la terre cohésive, faible frottement

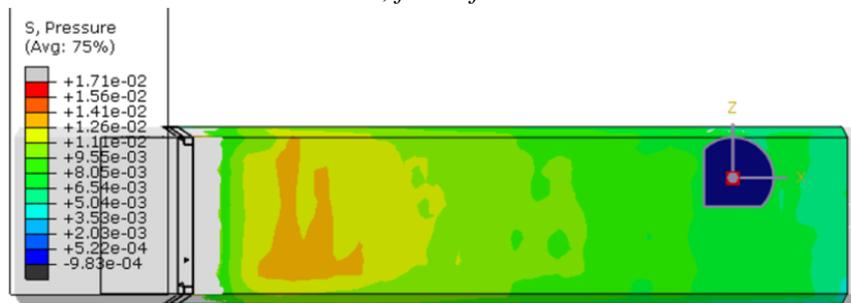


Figure 4 : Distribution de pression appliqué pour le modèle coque (répartition de pression de contact extraite du calcul de la figure 3)

### 4.3. Résultat (proposition d'amélioration)

Le critère de Von Mises est choisi pour sa précision par rapport aux celui de Tresca pour les matériaux ductiles. Le résultat de la simulation dans la figure 5 montre deux zones où les contraintes de Von Mises atteignent 373 MPa. Elles se situent au niveau de la sellette, à l'avant du caisson. Cela s'explique par le fait que le poids de la moitié du chargement doit être repris par un seul appui à cet endroit.

Les 2 supports en forme de triangle (voir la figure 5) sont ajoutés pour réduire la contrainte à 308 MPa (soit 82%). En utilisant la nuance d'acier S355, qui présente une limite élastique de 355 MPa, la contrainte maximale ne dépasse pas cette limite.

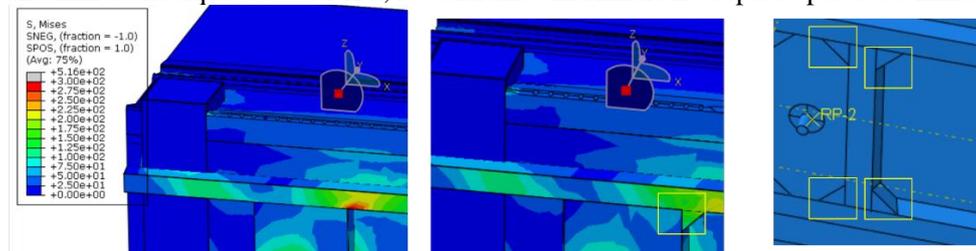


Figure 5 : Structure autour de la sellette et proposition d'amélioration

## 5. Conclusion et perspectives

Afin d'analyser la résistance mécanique du caisson du poussoir, cette étude numérique est menée en deux étapes.

La première étape permet d'obtenir, à partir du mouvement du bouclier au moment du déchargement, la distribution de pression que la terre exerce sur le caisson de la semi-remorque. La résultante reprise par le bouclier provient de la résistance de la terre écrasée et de la force de friction.

Ensuite, le résultat du calcul de cette première étape permet d'analyser la résistance mécanique structurelle du caisson. Le résultat montre que la plus forte contrainte apparaît autour du support de la sellette. Une amélioration structurelle est proposée pour réduire de 20% la contrainte sur ce support, autorisant l'utilisation d'acier S355.

La suite du projet permettra de finaliser le design du caisson en optimisant la résistance structurelle pour des cas de charges différents (variété de terre, charge, vitesse de déchargement). Un prototype réel permettra également de confirmer le design.

## 6. Remerciements

Ce projet est financé par la Région Wallonne. Je tiens à remercier le Pôle de Compétitivité Logistics in Wallonia pour son soutien financier et administratif à ce projet, et notre partenaire académique (CeREF) et les entreprises DTM et Hoslet pour leur étroite collaboration.

## 7. Sources

- [1] SZULGA, F., *Développement d'une semi-remorque 50 tonnes polyvalente avec vidage horizontal rapide*
- [2] DELTO-PULL, FORS, HOSLET, CEREF, *Rapport semestriel: LiW\_Delto-Pull - Convention n° 8098*
- [3] MIZONO, E., *Plasticity Models for soil*, North American Workshop on Limit Equilibrium



# Caractérisation du premier prototype d'hydrolienne fluviale en Suisse

Ing. G. CARPENTIER – Dr C. MÜNCH-ALLIGNÉ – Ir V. KELNER  
HELMo – Gramme – Liège

## 1. Introduction

Un premier prototype d'hydrolienne fluviale en Suisse a vu le jour au sein du groupe de recherche en hydroélectricité de l'école d'ingénieur de la HES-SO Valais/Wallis en Suisse. L'objectif de ce projet est de valoriser les débits résiduels en sortie de centrale hydroélectrique et de récupérer l'énergie cinétique des cours d'eau.

Le projet a débuté en 2010 avec des recherches menées sur les turbines à récupération d'énergie cinétique. Pour donner suite à ces recherches et afin de valider les simulations numériques réalisées, un prototype a été construit. Les tests avec ce prototype en laboratoire s'avérant complexes à mettre en œuvre, la décision de le tester en conditions réelles fut prise. C'est ainsi qu'en 2017, le premier prototype d'hydrolienne fluviale en Suisse fut installé pour 6 mois dans le canal de fuite de la centrale hydroélectrique de Lavey.

En mars 2021, à la suite de quelques modifications apportées au niveau de l'électronique de puissance, du contrôle et de l'instrumentation, l'hydrolienne a été réinstallée sur le site de Lavey.

Comme l'illustre la Figure 1, la version finale de l'hydrolienne est composée d'un carénage d'un diamètre d'entrée de 1,13 m, d'un diamètre de sortie de 1,6 m, et d'une longueur de 4 m, permettant d'accélérer le fluide par le phénomène de Venturi et ainsi dépasser la limite de Betz. L'hydrolienne est également composée de 5 aubes directrices fixes qui permettent de guider l'écoulement et de donner une certaine rigidité au carénage. Une roue tripale d'un mètre de diamètre permet de transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique. Un bulbe dans lequel se trouve le multiplicateur et la génératrice permettent de transformer cette énergie mécanique en énergie électrique.

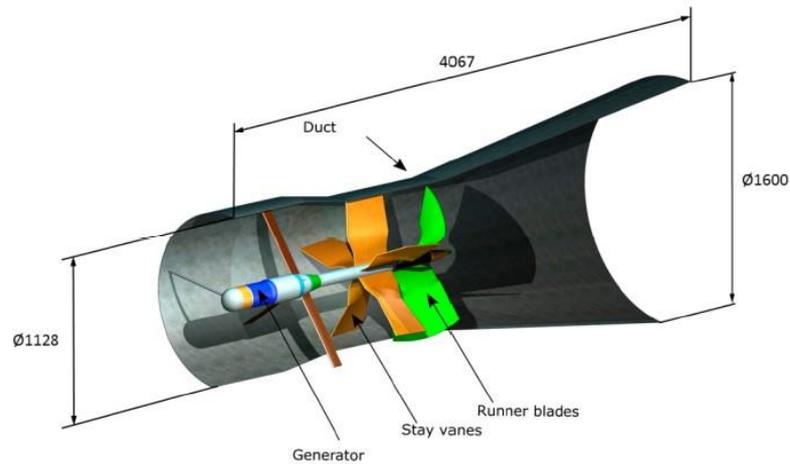


Figure 1. Modélisation 3D de la version finale de l'hydrolienne

## 2. Campagnes de mesures

Afin de caractériser l'hydrolienne, les courbes de caractérisation  $C_p$ - $\lambda$  de la machine ont été construites pour différentes vitesses d'écoulement. Pour y parvenir, des campagnes de mesures ont été réalisées sur le site pilote.

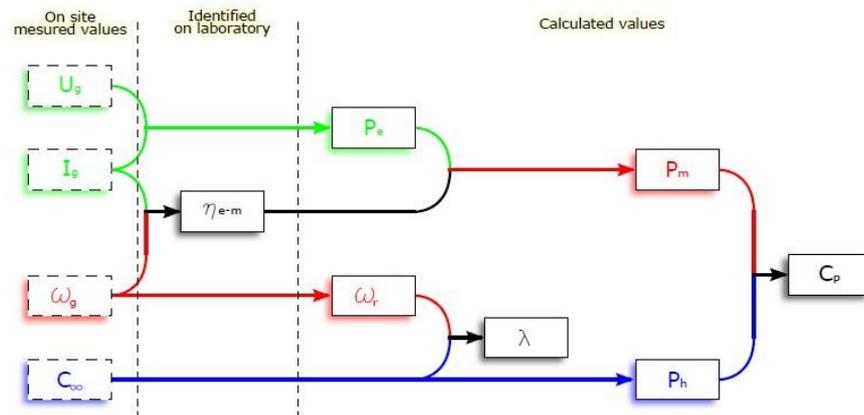


Figure 2. Schématisation du principe de mesure de performances de l'hydrolienne

La Figure 2 représente le schéma global des différentes mesures réalisées pour la création des courbes de caractérisation ( $C_p$ - $\lambda$ ). Afin de parvenir à ce résultat, nous avons besoin de la mesure de la tension et du courant pour calculer la puissance électrique produite. Le rendement électromécanique de la machine est, quant à lui, déterminé à l'aide d'une fonction identifiée en laboratoire, elle-même fonction du

courant et de la vitesse angulaire de la génératrice. Il est dès lors possible de calculer la puissance mécanique à partir de ce rendement et de la puissance électrique.

Le coefficient de performance ( $C_p$ ) et le tip speed ratio ( $\lambda$ ), quant à eux, se définissent simplement à l'aide des Équations 1. Ils sont respectivement le rendement de la machine et le rapport entre la vitesse de rotation de la roue et la vitesse d'écoulement. De cette façon, on obtient des courbes sans dimensions qui se superposent pour donner le meilleur point de fonctionnement de la machine, qui est pour un  $\lambda$  de 2,1, un rendement maximum de 76,8 %.

$$C_p = \frac{P_{Elec}}{P_{Hydro}} \quad \lambda = \frac{\omega_{roue} \cdot r}{V_{ref}}$$

Équations 1. Formules d'adimensionnalisation des courbes de caractérisation

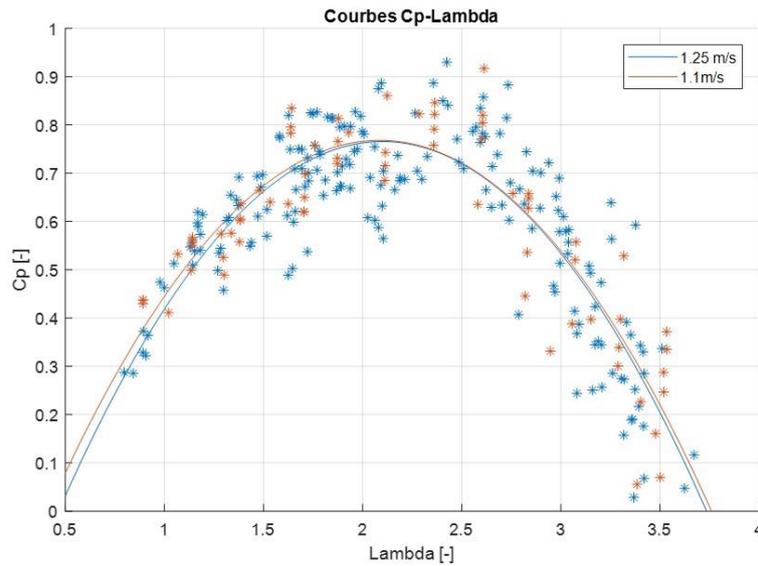


Figure 3. Courbes de caractérisation de l'hydrolienne adimensionnalisées ( $C_p - \lambda$ )

Les deux courbes de caractérisation représentées à la Figure 3 sont le résultat de deux campagnes de mesures menées pour des vitesses d'écoulement dans le canal de l'ordre de 1,1 m/s et 1,25 m/s. On peut remarquer que les deux courbes se superposent presque parfaitement. Afin d'appuyer les résultats de performances obtenus et valider la caractérisation, au moins une courbe supplémentaire serait nécessaire.

Des estimations et prédictions de productions électrique ont toutefois été réalisées en parallèle des campagnes de mesures. Les résultats obtenus grâce à cette étude permettent de corroborer les courbes générées lors des campagnes de mesures.

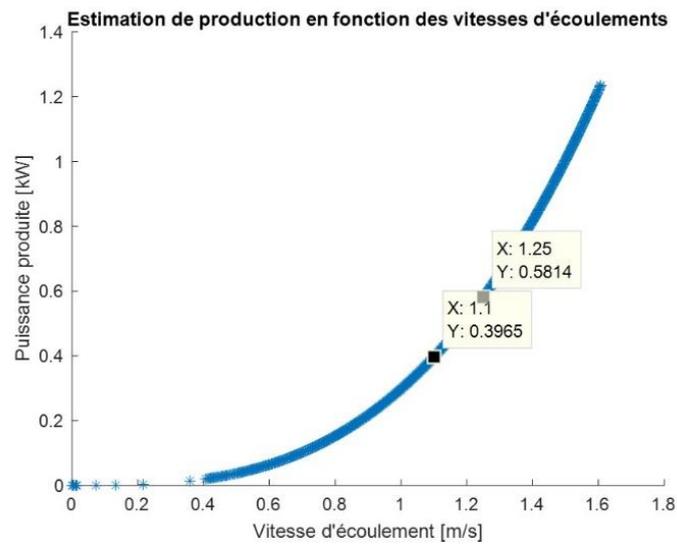


Figure 4. Courbe des estimations de puissances électriques produites.

On peut s'apercevoir que ces estimations correspondent effectivement aux mesures réalisées sur le site pilote à Lavey. Pour des vitesses d'écoulement de 1,1 m/s et 1,25 m/s, les puissances produites sont respectivement de 400 W et 550 W.

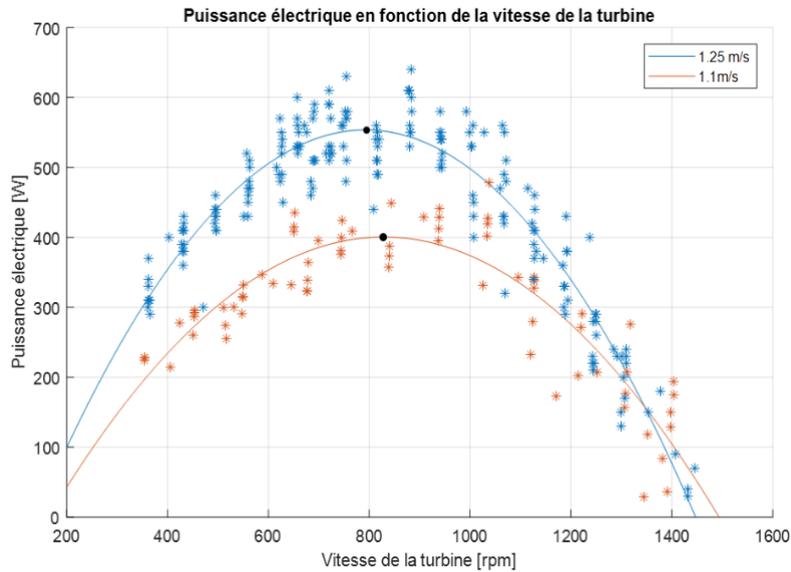


Figure 5. Courbes de caractérisation de l'hydrolienne non-adimensionnalisées

### 3. Conclusion

Sur ces perspectives intéressantes du développement d'énergie hydraulique, nous retiendrons que ce type d'hydrolienne développé en Suisse est adapté à la récupération de l'énergie résiduelle des centrales hydroélectriques et de toutes installations au fil de l'eau ayant un débit suffisant, comme par exemple les stations d'épuration, les barrages écrêteurs de crues et les sas d'écluse. Elle pourrait également être implantée directement en fleuve ou en rivière.

Ce travail traite d'un sujet expérimental et les recherches menées jusqu'à présent ont pour objectif de développer un prototype fonctionnel et fiable. La question de la rentabilité se posera éventuellement dans un second plan mais n'est pas une priorité pour le groupe de recherche.

### 4. Sources

- [1] MÜNCH-ALLIGNÉ, C., et al. *Réalisation d'une hydrolienne pour les canaux artificiels*. Rapport technique, Valais/Wallis, Suisse : HES-SO, novembre 2018.

- [2] BIERI, M., *et al.* *Barrage de Lavey. Etudes physique et numérique des écoulements et du transport solide dans le Rhône.* La Houille Blanche 6 (2010), pp. 60-66.  
DOI : 10.1051/lhb/2010068.
  
- [3] PETRONE, G., SPAGNUOLO, G., & VITELLI, M. (2012). *Distributed Maximum Power Point Tracking: Challenges and Commercial Solutions.* *Automatika*, 53(2), pp.128-141.  
URL : <https://doi.org/10.7305/automatika.53-2.181>





# **Étude de l'effet radiosensibilisant des nanoparticules d'oxyde de fer sur une lignée cellulaire cancéreuse**

Ing. C. VANDERDONCK  
HELHa – Mons

Ms. I. TERNAD - Dr. D. STANICKI - Prof. S. LAURENT  
UMONS - Mons

## **1. Introduction**

La radiothérapie est l'un des traitements de lutte contre le cancer les plus utilisés de nos jours. Ce procédé thérapeutique n'en présente pas moins certaines limitations comme les dommages générés au niveau des tissus sains avoisinant la tumeur. Depuis les travaux pionniers d'Hainfeld en 2004, des preuves démontrent une synergie entre une irradiation par rayons X combinée à l'administration de nanoparticules métalliques. Ce sont principalement les particules à haut numéro atomique qui ont été investiguées pour leurs effets physiques sur les cellules. Cet article envisage le début de l'étude explorative de l'utilisation des nanoparticules d'oxyde de fer lors d'un tel traitement.

## **2. Effets radiosensibilisants des nanoparticules**

Les cellules cancéreuses sont des cellules ayant subi une mutation génétique qui leur confèrent alors un avantage sélectif (elles prolifèrent plus rapidement que les cellules saines). Une masse se forme par accumulation des cellules cancéreuses. Cette masse est appelée tumeur lorsqu'elle devient maligne. Cela signifie qu'elle envahit les tissus environnants et les empêche d'exercer leur rôle.

La radiothérapie est un traitement consistant à envoyer un rayon ionisant de haute énergie sur la tumeur pour détruire le code génétique des cellules cancéreuses, condamnant ainsi leurs lignées. Malgré les précautions prises lors du traitement, les tissus sains autour de la tumeur traitée sont également endommagés.

Bien que tous les paramètres d'échec et succès aient été identifiés, la radiothérapie est encore limitée par les effets secondaires provoqués sur les tissus sains. C'est pourquoi la radiothérapie a fortement évolué ces dernières années. L'utilisation d'une molécule qui viendrait se placer au sein même de la tumeur et qui aurait la

---

Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°36, 2022

Une version plus développée de cet article est accessible en ligne à l'adresse suivante :

<http://www.isilf.be/>

capacité d'augmenter la destruction des cellules cancéreuses lors de l'irradiation serait une avancée quant à l'efficacité de cette thérapie. Ce type de molécule est appelé *radiosensibilisatrice*. Plusieurs études ont démontré que les nanomatériaux à haut numéro atomique sont de bons candidats en raison de leur grand coefficient d'absorption des rayons X. Ils sont donc susceptibles d'augmenter les dommages provoqués aux organites et à l'ADN de la cellule par la radiothérapie tout en limitant ceux provoqués aux tissus sains [1].

Le nanomatériau le plus étudié comme agent radiosensibilisant est l'or car il a un grand coefficient d'absorption des rayons X et une bonne biocompatibilité. Différentes études ont déjà démontré leur efficacité tant sur le plan physique, initialement analysé, que chimique et biologique.

Lors de l'irradiation, il y a formation importante de ROS (reactive oxygen species). Ceux-ci sont naturellement produits par la cellule mais mortels s'ils sont présents en trop grande quantité, car ils oxydent les bases de l'ADN et entraînent l'altération des membranes mitochondriales. Ceci a comme conséquence une diminution de la production d'ATP, empêchant la réparation de l'ADN. De plus l'interaction entre la membrane mitochondriale et le cytochrome C diminue. Celui-ci est donc libéré dans le cytosol et devient signal d'apoptose<sup>1</sup>. Pour se prémunir de tous ces effets, la cellule contient un système de détoxification composé de plusieurs enzymes dont le couple thiorédoxine (Trx)/thiorédoxine réductase (TrxR). Il a été démontré que les nanoparticules d'or inhibent la thiorédoxine réductase. Cela a pour effet une augmentation de la quantité de ROS qui mène à l'apoptose [2].

### 3. Nanoparticules d'oxyde de fer

Les nanoparticules d'or sont chères à produire et peu utilisées en imagerie médicale. Les nanoparticules d'oxyde de fer sont, quant à elles, déjà utilisées en tant que traceur pour l'imagerie par résonance magnétique (IRM). De plus, le fer a été identifié comme un inhibiteur de la thiorédoxine réductase. Il est donc intéressant d'investiguer les nanoparticules d'oxyde de fer comme inhibiteur de la thiorédoxine réductase.

Le cœur magnétique des nanoparticules est constitué d'oxygène et d'ions ferreux et ferriques. De cette configuration résulte une aimantation non-nulle qui confère aux nanoparticules leurs propriétés superparamagnétiques. C'est cette propriété qui est exploitée pour leur utilisation en IRM.

---

<sup>1</sup> Apoptose : la mort cellulaire

La stabilisation des nanoparticules est un point crucial pour des applications biomédicales. En effet, en plus de leurs mouvements browniens qui leur confèrent une probabilité de collision importante, les nanoparticules sont soumises à des forces d'attractions, comme les forces de Van der Waals ou les forces magnétiques, et de répulsion. La modification de surface est donc une étape importante de la synthèse. Elle permet de prévenir l'oxydation des nanoparticules par l'air, d'éviter la formation d'agrégats et d'augmenter la biodisponibilité des nanoparticules.

Pour cette étude, deux agents d'enrobage différents ont été utilisés :

- Le carboxysilane, sous forme de TEPSA (3-(triéthoxysilyl)propylsuccinic anhydride) : forme des liaisons covalentes avec les nanoparticules d'oxyde de fer et avec lui-même pour former une enveloppe qui entoure la nanoparticule. Les forces de répulsions sont alors de nature électrostatique [3].
- Le polyéthylène glycol (PEG) : forme un lien amide avec le carboxy-silane. Celui-ci augmente les forces de répulsions stériques.

#### 4. Résultats

L'hypothèse de travail de l'étude est que les nanoparticules d'oxyde de fer sont inhibitrices de la thiorédoxine réductase. Elles pourraient, de ce fait être utilisées comme agent radiosensibilisant.

Au préalable, la viabilité cellulaire en présence des nanoparticules ainsi que leurs internalisations ont été étudiées. Les conclusions de ces résultats sont que la présence de nanoparticules n'altère pas la viabilité jusque 48 heures et peu importe leurs concentrations. Ce résultat nous permet de déterminer que la cause de la mort cellulaire des expériences suivantes n'est pas due aux nanoparticules.

De plus, les nanoparticules sont bien internalisées par les cellules. La quantité dépend :

- Du type de nanoparticule : les nanoparticules coatées au carboxy-silane sont internalisées en plus grande quantité que celles coatées au PEG. Ceci est expliqué par un mécanisme d'internalisation différent.
- De la durée d'incubation en présence des nanoparticules : après 24 heures d'incubation, une plus grande quantité de fer n'a été mesurée qu'après 6 heures en présence de nanoparticules.

L'inhibition enzymatique a été mesurée à l'aide d'un kit commercial. Celui-ci se base sur la réduction du DTNB qui est catalysée par la thiorédoxine réductase (entre autres). Plusieurs mesures sont donc effectuées :

- Le DTNB total réduit
- Le DTNB réduit par toutes les enzymes autres que la thiorédoxine réductase

- La quantité totale de protéines afin de pouvoir normaliser les données

Comme illustré à la figure 2, l'activité de la thiorédoxine réductase a été évaluée avec des cellules A549 sans nanoparticule (données de couleur bordeaux) et avec des 7 nm IONPs<sup>2</sup> carbonylés (50 µg Fe/mL, données de couleur bleu). Les différents rapports entre les régressions linéaires des résultats permettent de quantifier l'inhibition de la thiorédoxine réductase par les nanoparticules.

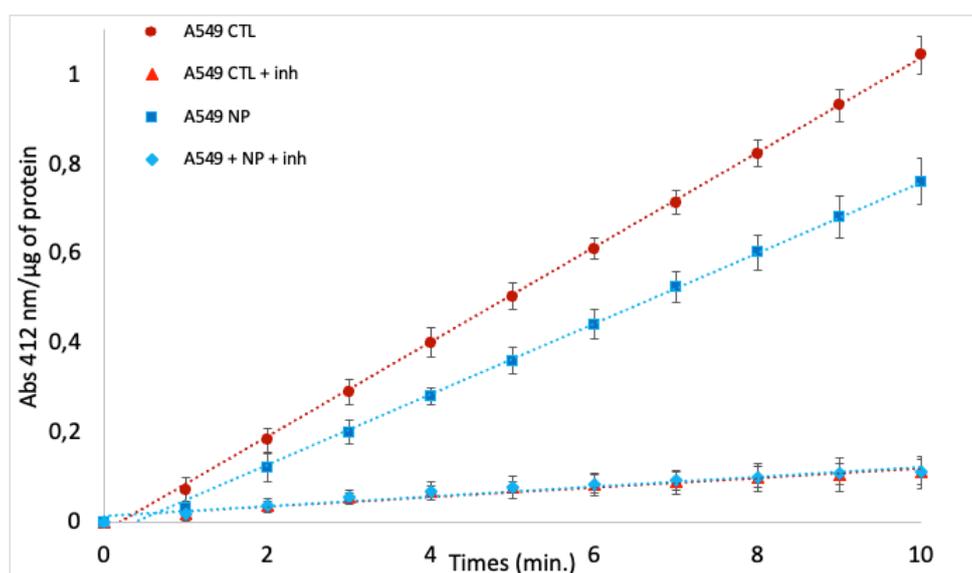


Figure 1 : mesure de l'inhibition de la TrxR (TEPSA brutes - 50 µg Fe/mL - 24 h incubation)

Après 24 heures d'incubation avec les TEPSA brutes, l'enzyme thiorédoxine réductase est inhibée à  $32 \pm 3$  %. En d'autres mots, l'activité enzymatique de la thiorédoxine réductase résiduelle au sein des cellules incubées avec les NPs est de 68 %.

## 5. Conclusions

Les résultats obtenus sont encourageants et ouvrent une perspective d'utilisation des nanoparticules d'oxyde de fer comme agent radiosensibilisant dans le traitement contre le cancer via la radiothérapie.

<sup>2</sup> IONPs : Iron Oxide Nanoparticles

En effet, les nanoparticules semblent effectivement inhiber l'activité de la thiorédoxine réductase. Celle-ci est inhibée à  $32 \pm 3$  % lorsque les cellules contiennent  $4,6 \pm 1,2$  picogrammes de fer par cellule (24 heures d'incubation avec les NPs).

A titre comparatif : les nanoparticules d'or internalisées à hauteur de  $2,0 \pm 0,4$  pg d'or/cellule, sur la même lignée cellulaire (A549) inhibent la thiorédoxine réductase à  $72 \pm 3$  %.

La suite de l'étude consiste enfin à approfondir la fraction survivante de cellules cancéreuses après l'exposition aux radiations.

## 6. Sources

- [1] Laurent, G., Jimenez Sanchez, G., Bazzi, R., Lux, F., Perriat, P., Tillement, O., & Roux, S.. *Nanoparticules d'or multifonctionnelles pour l'imagerie et la thérapie*. Techniques de l'ingénieur, décembre 2014.
- [2] Penninckx, S., Heuskin, A.-C., Michiels, C., & Lucas, S.. *Gold Nanoparticles as a Potent Radiosensitizer: a transdisciplinary approach from physics to patient*. *Cancer*, 12(8), juillet 2020, pp 1-36.
- [3] Stanicki, D., Boutry, S., Laurent, S., Wacheul, L., Nicolas, E., Crombez, D., Vander Elst, L., Muller, R. N. *Carboxy-silane coated iron oxide nanoparticles: a convenient platform for cellular and small animal imaging*. *Journal of Materials Chemistry B*, 2, novembre 2013, pp.387-397.



# Mise en place et évaluation d'un outil BIM simplifié en vue d'améliorer le suivi d'un projet de construction.

Ing. N. WALLEYN SPITS  
Ing. C. HUENAERTS  
Ar. F. ELAERTS

ECAM – Bruxelles

## 1. Introduction

Depuis la nuit des temps, l'Homme a appris à se nourrir, à se protéger et à s'abriter. C'est ainsi qu'est né le domaine de la construction. Destinée à couvrir les besoins de logement, celle-ci a subi de profondes transformations, marquées d'innovations fréquentes. Elle se veut de plus en plus ambitieuse tout en restant efficace, performante, durable et profitable.

Le domaine de la construction est de plus en plus exigeant envers ses acteurs. Les contraintes se multiplient. Il faut construire en améliorant la qualité, plus vite et moins cher. Or les processus se fragmentent et le nombre d'intervenants augmente, pour se spécialiser davantage. Pour que les travailleurs de la construction puissent atteindre des objectifs de plus en plus ambitieux, nous devons leur fournir les moyens qui leur permettront d'y parvenir. Tout le processus doit être repensé et optimisé. C'est ainsi qu'un nouveau concept est né : le BIM.

Il y a quelques années, la direction de Thomas & Piron Holding a pris conscience de l'intérêt que représentait le BIM pour son secteur. Dans le cadre de leur plan de déploiement, l'entreprise Kabandy leur a présenté une plateforme collaborative permettant au maître de l'ouvrage et à l'entreprise générale d'échanger les informations et de s'accorder sur les états d'avancement du chantier. Intéressés, ils se sont entendus pour évaluer ce produit sous forme de projet pilote sur un chantier à Liège.

La première partie de ce travail expose le concept du BIM, ses objectifs, son intégration dans un projet, le développement d'outils-métiers, etc. La deuxième partie présente le projet pilote, la partie « project management » ainsi que de la partie « éva-

luation de la plateforme du côté constructeur ». Cet outil est-il visuel et facile à utiliser ? Permet-il de collecter des informations fiables ? Tient-il ses promesses ? Pour compléter les conclusions des tests, une brève comparaison de l'outil Kabandy est réalisée avec deux plateformes concurrentes dans le but de mettre en évidence les fonctionnalités qui pourraient y être intégrées.

Enfin, ce travail permet de répondre partiellement aux questions suivantes : Ce type d'outil a-t-il le potentiel de s'imposer comme un outil de travail quotidien ? Va-t-il bousculer le processus traditionnel ? Et participera-t-il à la révolution d'un secteur qui se veut ambitieux, efficace, performant, durable et profitable ?

## 2. Le concept du BIM

Le BIM n'est pas un outil ou un logiciel de travail. Il se définit plutôt comme étant une **méthode de travail**, un ensemble de processus qui permettent d'améliorer et de simplifier l'ensemble des étapes et procédés de construction d'un projet, depuis sa conception à son exploitation voire sa démolition. Les trois lettres du terme BIM forment trois acronymes distincts qui en cadrent le principe général.

Premièrement, le **Building Information Model** est l'avatar d'un bâtiment réel dans un espace virtuel. Grâce à l'Open BIM, le BIM Manager crée un modèle central pour que les acteurs issus des différentes disciplines puissent y coordonner leurs sous-projets directement. Avec le Close BIM, les sous-projets sont d'abord réalisés séparément pour n'être coordonnés qu'après en un seul modèle central. Le deuxième acronyme est le **Building Information Modeling** qui inclut la modélisation, donc la création du modèle numérique. Enfin, le **Building Information Management** exprime la gestion et l'échange des modèles ainsi que la coordination de toutes les données et informations du projet.

En analysant le processus traditionnel de construction d'un ouvrage, on constate à quel point celui-ci est fragmenté en de **trop nombreuses étapes** impliquant de **trop nombreux acteurs** différents. Chaque discipline passe le relais sans vraiment se préoccuper de ce dont le suivant a besoin. Ceci peut mener à des ruptures entre les étapes du cycle de vie d'un bâtiment, principalement en phases de conception et de construction. Cette trop grande fragmentation engendre des **incompréhensions, des répétitions, une diminution de la qualité, ainsi que des retards et des surcoûts**. Vu les exigences de spécialisation de plus en plus fortes, les acteurs ont souvent des niveaux de qualification et des formations différentes, des outils qui leur sont propres et des méthodes de travail qui ne concordent pas toujours. Il n'est pas étonnant d'aboutir à un **degré de collaboration limité**.

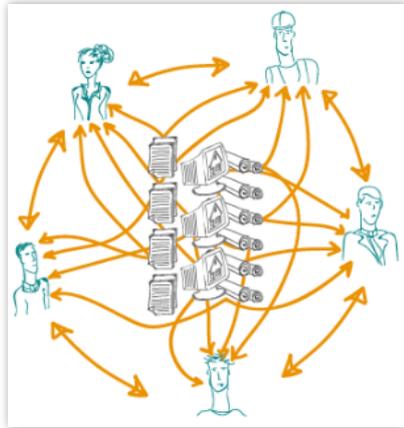


Figure 1 : Processus traditionnel - (CSTC.be, 2017).

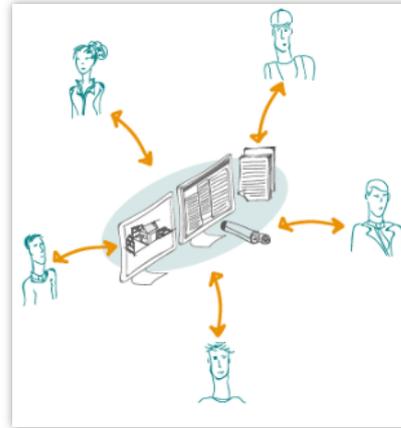


Figure 2 : Approche BIM - (CSTC.be, 2017).

Le BIM propose une méthode de travail qui vise à améliorer et faciliter l'échange d'informations entre les acteurs tout au long du cycle de vie du projet, sur base d'un processus radial qui place le modèle au centre du projet. Ainsi chacun gravite autour de cet avatar et interagit directement avec celui-ci.

Cependant, pour que cette transformation vers le numérique se fasse de manière optimale, toute la chaîne doit recourir aux mêmes outils. Le BIM pour être efficace, doit être utilisé à chaque étape du processus et il est donc primordial d'inclure l'ensemble des corps de métiers à l'aide d'outils numériques appelés « outils-métiers ». L'objectif de ces solutions BIM est de rapprocher le BIM des plus petites entreprises. Ces outils spécifiques sont adaptés aux besoins de chaque corps de métier et sont développés pour optimiser le processus constructif afin que chacun, à son niveau, puisse accéder au BIM.

### 3. Le projet pilote

Actuellement, pour que le constructeur transmette l'avancement du chantier au maître d'ouvrage, le gestionnaire visite le chantier et vérifie les tâches réalisées. Il calcule ensuite les quantités exécutées. Pour cela il se base sur les plans et les métrés, et retranscrit ces informations dans un template validé par les deux parties. Ce travail d'évaluation de l'avancement du chantier est fastidieux et il s'agit donc généralement plus d'une estimation que d'un récapitulatif précis, c'est une source fréquente d'erreurs et de discussions.

**L'objectif de l'outil-métier développé par Kabandy est de permettre au maître de l'ouvrage et à l'entreprise générale de disposer d'une plateforme d'échange d'informations et de s'accorder sur les états d'avancement.**

Le client et le constructeur n'ont pas les mêmes attentes. Le client a besoin d'une application de gestion de projet simple, efficace et visuelle. Le constructeur doit disposer de solutions avancées et techniques pour affiner ses estimations et limiter ou éviter les dépassements budgétaires.

Le logiciel Kabandy entend répondre aux besoins de BPI (client) et de Thomas & Piron (constructeur) en présentant un rendu visuel de la maquette numérique avec toutes les informations techniques du bâtiment. Celle-ci est connectée à la gestion de projet par une interface simple, intuitive et visuelle.

Nous avons rencontré les différents acteurs du projet, rédigé le cahier des charges et corrigé les maquettes fournies par les architectes qui n'étaient pas optimales pour leur implémentation dans un outil BIM. Ensuite, nous avons été formés à l'outil et avons défini une méthodologie de tests, en deux phases, pour répondre aux questions suivantes : la plateforme fonctionne-t-elle comme attendu ? Les fonctionnalités proposées sont-elles en ordre de marche ? Est-elle adaptée à son utilisation ? Quelles mises à jour doivent être faites pour optimiser l'outil ?

Un des critères d'évaluation de la plateforme est le gain de temps. Cet objectif a été atteint. Il a été possible de réaliser un état d'avancement en seulement 2 heures. Avec le processus traditionnel, le conducteur doit passer par un métré, étape longue et fastidieuse, raison pour laquelle ce travail est systématiquement reporté au dernier moment. Kabandy automatise partiellement le calcul des quantités par rapport au métré. Cette étape chronophage est ainsi supprimée.

Kabandy propose un outil simplifié et intuitif. Ce critère a été traité. L'outil est simple et complet. Avec une formation sommaire, il est possible d'accomplir ses tâches. Nous avons pu observer qu'en présentant la plateforme à de potentiels futurs utilisateurs, un conducteur et un gestionnaire de chantier, ceux-ci ont été conquis par la facilité de prise en main. Enfin, même si la plateforme peut encore être améliorée, nous avons constaté que ce genre d'outil répond aux besoins des équipes de chantier pour la réaliser d'états d'avancement et pour encore bien d'autres tâches.

## **4. Comparaison**

Nous avons comparé Kabandy à d'autres outils similaires (mêmes processus, mêmes utilisateurs, ...) : LetsBuild et Bricsys 24/7. De par son caractère simplifié, la plateforme pourrait s'ouvrir à d'autres utilisateurs (clients, les sous-traitants, etc.) Cette comparaison nous a permis de faire ressortir quelques pistes d'amélioration. Par exemple, en intégrant la gestion des rôles, la gestion des flux de travail et le stockage de fichiers externes, cet outil pourrait peut-être devenir la base de la collaboration entre acteurs d'un même projet. Il deviendrait ainsi un canal de communication, cen-

tralisant toutes les informations. Chaque outil a sa spécificité... LetsBuild est performant pour sa gestion du planning grâce au diagramme de Gantt intégré, Bricsys 24/7 pour la création et l'automatisation des workflow et Kabandy propose un viewer performant avec un calcul de quantités quasi-automatique qui remplace l'étape du métré. Il est clair que la plateforme a du potentiel et qu'elle pourrait s'imposer sur le marché. C'est évidemment aux développeurs de Kabandy de déterminer si l'investissement nécessaire en vaut la peine.

## 5. Conclusion

Comme nous le savons, le BIM s'impose dans le domaine de la construction. Des outils tels que celui proposé par Kabandy sont destinés à se démocratiser et à devenir des outils de travail quotidiens. Comment les choses vont-elles évoluer ? Chaque utilisateur va-t-il utiliser son outil de prédilection ? Allons-nous assister à une multiplication des outils ou nous dirigeons-nous plutôt vers une centralisation à travers un système d'API ? Qui sera le premier écran et qui fera appel en sous-ordre à d'autres programmes pour effectuer des tâches dans lesquels ils sont spécialisés ? Kabandy est-il donc condamné à se faire absorber, va-t-il s'imposer comme une référence dans son domaine ou simplement disparaître ? Comment ces outils vont-ils pouvoir se combiner à l'avenir ? L'avenir est aux plateformes, qui intégreront le meilleur de chaque monde, pour un résultat qui sera à la fois efficace et surtout ouvert à l'innovation apportée par le dynamisme des « petits » acteurs comme Kabandy. Leur focus sur les solutions qu'ils apportent aux problèmes de terrain, leur écoute du marché et leur collaboration avec leurs clients seront le meilleur gage de leur succès et de l'apport positif du BIM à tout notre secteur.

## 6. Sources

- *Objectif-BIM.com*, (mis en ligne en 2019), *Définition du BIM*. Adresse URL : <http://www.objectif-bim.com/index.php/bim-maquette-numerique/le-bim-en-bref/la-definition-du-bim>
- *bim&ICT*, (consulté le 31 mars 2020), *Les webinaires BIM*. Adresse URL : <https://www.bimportal.be/fr/projets/ct/publications-resultats/les-webinaires-bim/>
- *CSTC.be*, (mis en ligne en 2017), *Un regard éclairant sur le BIM*. Adresse URL : <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact53&art=795>
- *BibLus*, (mis en ligne le 8 octobre 2019), *Les différents niveaux du BIM, de 0 à 3 quels sont les niveaux de maturité du BIM*. Adresse URL : <https://biblus.accasoftware.com/fr/les-differents-niveaux-du-bim-de-0-a-3-quel-sont-les-niveaux-de-maturites-du-bim/>
- *Vandooren, O.*, (mis en ligne en 2016), *BIM&ICT : du virtuel au réel*. Adresse URL : <https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact51&art=774>



# **Contribution à l'autoconsommation de l'électricité produite par deux installations photovoltaïques via batteries, contrôle de la production d'eau chaude sanitaire et prises intelligentes**

Dr Ir. V. HANUS  
HENALLUX - Pierrard – Virton

## **1. Présentation du projet « Gaume Energies »**

Le projet « Gaume Énergies » est un projet mis en place par le Groupe d'Action Locale (GAL) Parc Naturel de Gaume asbl (PNdG), financé dans le cadre du Plan wallon de Développement Rural 2014-2020.

Ce projet a, entre autres, pour objectif de mettre en place des solutions de stockage décentralisé d'énergie, avec au minimum 60% d'autoconsommation de l'énergie photovoltaïque produite annuellement, de manière à être cohérent avec le tarif prosumer mis en place par la CWAPe, qui a établi que seulement « 37,76 % de l'énergie produite est consommée simultanément » [1]. L'École d'Ingénieurs d'HENALLUX est le sous-traitant chargé des calculs et des aspects techniques.

Deux bénéficiaires possédant déjà des installations photovoltaïques ont été sélectionnés au cours du projet, et deux systèmes ont été installés : ils sont composés d'une batterie (soit Li-ion, soit Na-ion), d'un contrôleur de puissance sur la résistance d'un ballon d'eau chaude sanitaire, le tout géré par un système de gestion énergétique (Energy Management System, EMS). Ils ont été monitorés sur une période de deux ans, soit de juillet 2019 à juin 2021.

## **2. Présentation des systèmes mis en place**

Les systèmes mis en place relèvent de trois technologies différentes :

- Une batterie électrochimique permet de stocker l'électricité sous forme chimique. Elle comprend un certain nombre de cellules, couplées à un convertisseur de puissance bidirectionnel, qui réalise l'interface entre le réseau électrique domestique et les cellules. L'état de la batterie est contrôlé à travers un système (Battery Management System, BMS). L'électricité peut être restituée avec un certain rendement.

- Un contrôleur de puissance associé à une résistance pour la production d'eau chaude sanitaire (PV-heater) permet de convertir l'électricité excédentaire en stockage de chaleur ; la production d'eau chaude sanitaire est déplacée dans le temps de manière à avoir lieu pendant les moments où une injection sur le réseau est susceptible de se mettre en place ; la température de l'eau chaude peut également être relevée dans un certain intervalle pour stocker plus de chaleur dans le ballon lorsque la production photovoltaïque est abondante. L'eau chaude stockée ne permet pas de restituer de l'électricité.
- Des prises intelligentes (smart plugs) permettent d'interrompre le cycle d'un appareil électroménager à son démarrage pour le reprendre quand la production photovoltaïque est suffisamment élevée pour induire une autoconsommation.

## 2.1. Installation de Meix-devant-Virton

L'installation photovoltaïque de Meix-devant-Virton a les caractéristiques suivantes :

**Type d'installation** : fixe ;

**Pente** : 35° ;

**Azimut** : 38° vers l'ouest ;

**Technologie** : silicium cristallin ;

**Puissance** : 6 kW<sub>c</sub> pour les panneaux, 4,6 kW pour l'onduleur.

La batterie installée se caractérise comme suit :

**Technologie** : sodium-ion ;

**Puissance** : 2,4 kW pour la batterie et pour le convertisseur de puissance bidirectionnel ;

**Énergie** : 10,8 kWh ;

**Masse des cellules** : 560 kg ;

**Volume** : 0,383 m<sup>3</sup> ;

**Énergie spécifique massique** : 19,3 Wh/kg ;

**Énergie spécifique volumique** : 28,2 Wh/L ;

**Rendement électrochimique annoncé** : 88,5%.

Le contrôleur de puissance sur l'eau chaude sanitaire est configuré comme suit :

**Capacité** : 160 L ;

**Puissance** : 3 kW ;

**Température minimum** : 5 °C ;

**Température maximum** : 75 °C pour le contrôleur, 60 °C pour le thermostat mécanique ;

**Production en aval** : assurée par la chaudière combinée au mazout.

Deux prises intelligentes alimentent un lave-linge et un lave-vaisselle.

## 2.2. Installation de Florenville

L'installation photovoltaïque de Florenville a les caractéristiques suivantes :

**Type d'installation** : fixe ;

**Pente** : 10° ;

**Azimut** : 15° vers l'ouest ;

**Technologie** : silicium cristallin ;

**Puissance** : 5,5 kWc pour les panneaux, 4,5 kW pour l'onduleur.

La batterie installée se caractérise comme suit :

**Technologie** : lithium-ion ;

**Puissance** : 9 kW pour la batterie, 2,4 kW pour le convertisseur de puissance bidirectionnel ;

**Énergie** : 10,5 kWh ;

**Masse des cellules** : 149 kg ;

**Volume** : 0,2 m<sup>3</sup> ;

**Énergie spécifique massique** : 70,5 Wh/kg ;

**Énergie spécifique volumique** : 52,6 Wh/L ;

**Rendement électrochimique annoncé** : 95 %.

Le contrôleur de puissance sur l'eau chaude sanitaire est configuré comme suit :

**Capacité** : 300 L ;

**Puissance** : 2 kW ;

**Température minimum** : 50 °C ;

**Température maximum** : 75 °C pour le contrôleur, 70 °C pour le thermostat mécanique ;

**Production en aval** : aucune ;

**Désinfection thermique** : enclenchée jusqu'à 65 °C ou pendant 3h si la température n'a pas atteint 65 °C dans les 30 dernières heures.

Une prise intelligente alimente un lave-vaisselle.

### 3. Principaux résultats et rentabilité de l'investissement

Les principaux résultats sont repris dans le tableau 1.

Le coût d'achat de l'installation de Meix-devant-Virton s'élève à 18 539 €, TVA de 21% comprise, tandis que celui de Florenville s'élève à 14 378 €, TVA de 21% comprise (un taux de **TVA de 6%** est applicable si le logement a au moins 10 ans).

Le tarif prosumer capacitaire pour ORES Luxembourg est déterminé par rapport à la puissance nette développable et s'élève à [3] :

- 89,54 €/kWe en 2020 ;
- 90,29 €/kWe en 2021 ;
- 90,63 €/kWe en 2022 ;
- 91,63 €/kWe en 2023.

Il se situe donc entre 400 et 410 € pour les deux installations, suivant les années.

	Meix-devant-Virton		Florenville	
	Période 1	Période 2	Période 1	Période 2
Autoconsommation	4 641 kWh	4 785 kWh	3 031 kWh	3 422 kWh
Production photovoltaïque	6 513 kWh	6 207 kWh	4 049 kWh	4 065 kWh
Injection	1 885 kWh	1 435 kWh	1 032 kWh	653 kWh
Prélèvement	1 952 kWh	1 890 kWh	4 259 kWh	4 501 kWh
Consommation domestique	4 041 kWh	4 333 kWh	6 648 kWh	7 316 kWh
Énergie stockée par la batterie	1 716 kWh	1 789 kWh	1 991 kWh	1 659 kWh
Énergie déstockée par la batterie	1 109 kWh	1 096 kWh	1 404 kWh	1 146 kWh
Énergie stockée par le contrôleur de puissance	1 620 kWh	1 545 kWh	539 kWh	464 kWh
Énergie déplacée par les prises intelligentes	2 kWh	7 kWh	4 kWh	23 kWh

*Tableau 1: Principaux résultats*

L'installation de Meix-devant-Virton permet d'économiser de 205 à 235 € par an en passant du tarif capacitaire au tarif proportionnel. Cette économie tient compte du contrôleur de puissance, qui permet d'économiser 150 litres de mazout en préchauffant de l'eau chaude sanitaire, mais qui induit un prélèvement net en faisant augmenter la consommation d'électricité pour cette préchauffe.

L'installation de Florenville permet d'économiser de 70 à 165 € par an en passant du tarif proportionnel au tarif capacitaire. L'économie associée au tarif proportionnel est diminuée par l'achat d'électricité pour compenser le rendement de la batterie.

Pour les deux installations, c'est une économie intéressante, mais loin d'être suffisante pour couvrir les coûts de l'installation dans un temps de retour inférieur à la durée de vie.

## 4. Conclusion et perspectives

Une autoconsommation de la production d'une installation photovoltaïque domestique de l'ordre de 70 à 80% est atteignable au moyen d'une batterie ou d'un contrôleur de puissance régulant la production électrique d'eau chaude sanitaire. Un tel résultat n'est plus atteignable si le chauffage de l'habitation est effectué électriquement (électrique pur ou pompe à chaleur). L'économie annuelle obtenue en passant du tarif prosumer capacitaire au tarif proportionnel est très variable suivant les cas étudiés : de l'ordre 45-50 €/kWe installé pour une installation surdimensionnée à 15-35 €/kWe installé pour une installation sous-dimensionnée. Dans tous les cas, ces

gains sont trop faibles pour induire un temps de retour simple inférieur à la durée de vie des batteries.

Un taux plus élevé n'est pas atteignable, du fait qu'un stockage saisonnier serait nécessaire pour cela : les systèmes utilisés ont une autodécharge qui induit que seule leur utilisation pour un stockage intra-journalier est pertinent.

Concernant les batteries, le haut rendement électrochimique mis en avant par les fabricants n'est pas observé dans la réalité : des consommations auxiliaires induisent un rendement global de 60% entre électricité reçue et électricité délivrée.

La production d'eau chaude sanitaire déphasée au moyen du contrôleur de puissance sur une résistance électrique est un des moyens les moins chers et les plus efficaces (pour autant que le ballon soit correctement isolé). Il est cependant dommage que cette technologie ne soit pas complètement transposable à la production d'eau chaude sanitaire par pompe à chaleur (ballon thermodynamique) avec l'aspect « contrôle de la puissance », ce qui impliquerait une consommation électrique plus faible et rationnelle du ménage.

Lorsque plusieurs systèmes sont installés conjointement, les priorités au sein du système de gestion énergétique doivent être choisies adéquatement, de manière à éviter de cumuler les rendements de transformation si en en vient à déstocker de l'énergie d'une forme pour la stocker sous une autre.

Cette étude se concentre sur deux installations, liées à deux ménages particuliers. Les conclusions ne peuvent donc être généralisées sans approfondir la démarche vis-à-vis d'autres situations. Une étude plus vaste avec des simulations pourrait amener à formuler des conclusions plus complètes.

## 5. Sources

[1] COMMISSION WALLONNE POUR L'ÉNERGIE, (mis en ligne le 11 mai 2020), *FAQ - Tarif prosumer*.

Adresse URL : <https://www.cwape.be/sites/default/files/cwape-documents/20e11-FAQ%20Prosumer-mise%20%C3%A0%20jour.pdf>

## 6. Remerciements

Cette étude n'aurait pas été possible sans le concours de la Wallonie et du FEADER, qui ont financé la majorité du projet « Gaume Energies » au travers du Plan wallon de Développement Rural 2014-2020.





# LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES

**Année académique 2020 -2021**

Le lecteur trouvera dans les pages suivantes la liste des travaux de fin d'études de Master en Sciences de l'Ingénieur Industriel.

Ils sont répartis par spécialités et classés dans chacune d'elles par ordre alphabétique des noms d'auteurs.

Même si certains travaux de fin d'études émarginent à plusieurs rubriques, ils ne sont repris qu'une seule fois en fonction de l'orientation essentielle de leur contenu.

La lettre entre crochets permet de déterminer l'Institut au sein duquel le travail a été réalisé et auquel le lecteur intéressé peut s'adresser.

ECAM	[E]
HELMo-Gramme	[G]
HELHa	[H]
HENALLUX - Pierrard	[P]



## 1. AUTOMATIQUE

### 1.1. RÉGULATION

- |     |                       |  |
|-----|-----------------------|--|
| [H] | AYDIN Ali             | Description et élaboration d'un système technique de signalisation actif d'orientation et de redirection pour un parking au SHAPE à Mons |
| [E] | AZZI Mossaab          | Comparaison de différents algorithmes de contrôle pour un système de recharge sans fil résonant  |
| [E] | OCTORS Lucas          | Création d'un TVC pour rocket de modélisme   |
| [E] | PALEOLOGU Christian   | Mise en place d'une bibliothèque de programmation d'automatisation dédiée au milieu pharmaceutique sur TIA Portal                        |
| [E] | SAMIH Tawfik          | Modélisation et contrôle d'un convertisseur modulaire « ISOP »   |
| [E] | TESSARO Arnaud        | Automatisation et visualisation des pompes de transfert et de réinjection de stations de la Belgian Pipeline Organisation                |
| [E] | VAN RENTERGHEM Julien | Intérêts de la technologie digital twin au sein des divisions recherche & développement et production de GSK vaccines                    |

### 1.2. SYSTÈMES SÉQUENTIELS

- |     |                     |   |
|-----|---------------------|---|
| [E] | GOSSART Thomas      | Mise en route et optimisation d'une machine innovante de production de textile connecté   |
| [E] | LHOEST Victor       | Rénovation d'un simulateur de laminage à chaud par presse uniaxiale   |
| [E] | PALEOLOGU Christian | Mise en place d'une bibliothèque de programmation d'automatisation dédiée au milieu pharmaceutique                                    |
| [E] | THILL Aymeric       | Augmentation de la cadence de production de la chaîne de production de masques chirurgicaux tout en gardant un même niveau de qualité |

### 1.3. ROBOTIQUE

- |     |                        |  |
|-----|------------------------|--|
| [E] | ATAYI-GUÈDÈGBÉ Yasmine | Development of a Cable Driven Parallel Robot (CDPR) prototype  |
| [E] | CAGRO Rezan            | Automatisation du bobinage du fil de cuivre des inducteurs toroïdaux de faibles diamètres                            |
| [G] | DARCIS Jérémy          | Vers le contrôle de prothèses robotiques: étude du potentiel des réseaux de neurones dans la classification des EMG. |

- [E] LAMINE Antoine Etude et réalisation d'un prototype de déchargement de gélules automatique avec échantillonnage du poids pour le domaine pharmaceutique
- [P] MAQUA Antoine Automatisation d'une fin de ligne de production de cosmétiques par l'ajout d'un robot collaboratif

#### 1.4. AUTOMATES PROGRAMMABLES

- [E] ABO EL-KHER Hazem Cable Driven Parallel Robot
- [P] ALONSO Florian Étude de conception et de réalisation d'une trieuse de colis industrielle
- [E] ASSAM Rodolphe Intégration d'un système d'acquisition de données "Low cost" à un système de régulation basé sur un PLC d'entrée de gamme de marque BECKHOFF
- [G] BLAISE Maxime Automatisation d'un Monofil
- [H] CACCIATORE Gerlando Réalisation d'un suivi de production sur base d'une communication Ewon-Automate
- [H] CACI Gian-Luca Automatisation et supervision d'une ventilation
- [H] CHOUKIR Mohamed Améliorations et optimisation d'une chaîne de production de masques chirurgicaux
- [H] CLOET Fabian Création d'une bibliothèque sous TIA PORTAL V15
- [H] COUPLET Louis Modernisation des automatismes d'une station de traitement des eaux et d'un écran opérateur d'un palettiseur cimentier
- [H] DUHEM Mathieu Revamping d'un automate programmable obsolète et étude d'obsolescence de matériels automatisés
- [P] GOFFIN Gêrôme Conception et automatisation d'une unité de mélange et de refroidissement de poudres alimentaires
- [G] HUPPERTS Sylvain Conception électrique, automatisation et réalisation d'une supervision d'une affûteuse de rabots hélicoïdaux
- [P] JOSIS Arnaud Optimisation & automatisation d'une machine spéciale pour le secteur du smart textile
- [E] MARDI Najim Automatisation de la réalimentation d'une boucle ouverte Moyenne Tension après apparition d'un défaut
- [E] VERVOORT Dylan Développement d'une nouvelle supervision des groupes de pulsions d'air de la Manufacture Belge de Chocolats

[P] WAUTERS Guillaume Migration d'un système autonome de chariots transporteurs vers l'automate principal d'une découpeuse de bobines de film auto-adhésif

#### 1.5. CAPTEURS ET INSTRUMENTATION

[H] CULOT Julien Conception d'un système de tri du linge d'une buanderie semi-industrielle

[H] DEROISSART Thibaut Développement d'une supervision des énergies au sein d'un bâtiment sous forme de dashboard

[H] DUJARDIN Denis Remplacement d'installations PLC et reporting de sécurité

[H] GRANVILLE Adrien Etude, conception et réalisation d'une alimentation autonome et automatisée fonctionnant aux énergies renouvelables

[H] LURQUIN Arthur Études de l'OPC UA et de l'analyse vibratoire continue au service de la maintenance

[H] PETTIAU Vianney Mise en service d'un standardiseur en ligne : Alfast et intégration d'un analyseur en ligne : Perten

[E] POCHET Joël Base roulante didactique commandée par un contrôleur IFM destiné aux engins mobiles

[H] SESTITO Loris Conception et réalisation d'un banc d'essai de tenue à l'éclatement

[H] VANDERELST Paul Optimisation du suivi des sous-produits en temps réel

#### 1.7. MODÉLISATION

[G] DIEDEN Tom Modélisation de la température et de la couche de mélange dans les lacs

[G] FROGNET Rémy Etude de l'intérêt des simulations thermiques pour le développement de luminaires

[G] JENCHENNE Pierre Design mécanique de lunettes connectées et analyse de la rentabilité de l'entrée sur le marché de l'industrie 4.0

[G] JOLIET Thomas Mise en œuvre d'un métamodèle au sein d'un outil d'optimisation métaheuristique

[G] LODONOU Elvis Amélioration d'un outil de calcul dynamique d'un récepteur solaire

[G] LOPEZ GUTIERREZ Robin Application for real-time calculation scenario prediction in VALI 5

[E] LOSSEAU François Utilisation de python dans le design de solution de régulation : outil de modélisation et application à un circuit Buck avec régulation de courant de crête

- [E] STONSKA Nathan Modélisation et analyse du comportement dynamique d'un aérocondenseur afin de proposer une régulation alternative

#### 1.8. APPLICATIONS DE L'AUTOMATIQUE

- [G] FONDER Denis Programmation de matériel HVAC et KNX  
 [E] FRYNS Jimmy Software application for a servomotor test bench

## 2. CHIMIE

### 2.1. CHIMIE INDUSTRIELLE ET PROCÉDÉS PILOTES

- [H] AYATA Esra Développement d'une méthode d'identification et de quantification d'additifs de polymère par technique UPLC
- [H] BARBIER Thomas Granulation de cristaux de nitrate de plomb dans un but de réduction des phénomènes de prise en masse lors du stockage
- [H] DELIVERT Ludgi Contribution à l'amélioration de la synthèse du glycérol monooléate
- [G] ETIENNE Benjamin Phase exploratoire d'un projet de traitement des composés organiques volatils
- [H] FORT Rowan Analyse technique et financière des moyens de traitement et de recyclage des rejets de nitrate de sodium dans les effluents industriels
- [G] GODFROID Pierre Optimisation de lignes de production utilisant des matériaux recyclés
- [H] HAUTENAUVEN Julien Développement de catalyseurs métallocènes pour la synthèse des polyoléfines
- [H] JAUNART Thibault Synthèse d'un oxyhydroxyde d'aluminium et étude de ses caractéristiques
- [G] MARION Kevin Conception et dimensionnement d'un séchoir solaire industriel pour la jacinthe d'eau
- [H] MENU Victor Etude de la stabilité des ammonitrates
- [H] ROUSSEAUX Alexis Optimisation du monitoring par spectroscopie proche infrarouge (NIR) d'un réacteur flow de synthèse du chlorure d'isopropylmagnésium
- [G] THIRION Igor Réalisation d'un système de désinfection d'eau de piscines par LEDs émettrices d'UVs

### 2.2. BIOCHIMIE – BIOTECHNOLOGIE

- [H] BAVEYE François Etude de la résolution d'énantiomères de l'acide lactique par la voie enzymatique

[H]	BOURDON Ludovic	Développement d'une nouvelle gamme de complément alimentaire sous forme de B-cap en vue de sa commercialisation
[H]	DAHMANI Loïc	Analyse de la production et mise au point de la purification de la vanilline produite par la souche microbienne <i>Amycolatopsis</i> sp
[H]	DELSAUX Cloé	ELISA optimisation and validation for the quantification of inactivated <i>Clostridium chauvoei</i> toxin A in clostridial vaccines
[H]	DUBOIS Florian	Obtention de cultivars de <i>Rhodiola rosea</i> et optimisation de la culture de <i>Salvia miltiorrhiza</i>
[H]	HAUBRUGE Romain	Développement d'un nouveau complément alimentaire pour la société BellaVie.
[H]	HIDAN Chaimaa	Etude de surfactants utilisés comme stabilisants dans des formulations injectables de protéines/anticorps
[H]	KRACK Clémence	Développement d'un procédé de bioremédiation des métaux par voie bactérienne et récupération sous forme de nanoparticules métalliques
[H]	MAISTRIAU Maxime	Optimisation expérimentale des pratiques industrielles liées au houblonnage à cru (dry-hopping)
[H]	PIZZIRUSSO Sonia	Développement d'un détergent enzymatique prêt-à-l'emploi destiné au nettoyage des bondes dans le cadre de la prévention des infections nosocomiales
[H]	VANDERDONCK Caroline	Etude de l'effet radiosensibilisant des nanoparticules d'oxyde de fer sur une lignée cellulaire cancéreuse

#### 2.4. CHIMIE DES MATÉRIAUX

[H]	COLLETTE Corentin	Electrolyte solide : intégration de liants polymères dans des conducteurs inorganiques et caractérisation des membranes composites
[H]	DUPRET Mathilde	Étude du post-traitement par polissage chimique et électrochimique de pièces en alliage de titane réalisées par fabrication additive.
[H]	GIORDANO Nicolas	Optimisation des propriétés mécaniques et optiques d'une nouvelle couche intumescence pour les vitrages anti-feu
[H]	HAESEVELDE Cédric	Optimisation des conditions de synthèse des nanotubes de carbone multi-parois en vue d'améliorer leurs caractéristiques et leurs performances

- [E] KASTRATI Ardian Conception d'une nouvelle cible montée sur cyclotron pour la production du radioisotope fluor-18
- [H] MENIER Lucas Optimisation de suspensions en verre, vitrocéramique et alumine pour impression 3D de type stéréolithographie
- [G] OFFERMANS Baptiste Amélioration et fiabilisation du procédé de production de produits à base de thermodurcissables recyclés

## 2.5. GÉNIE CHIMIQUE – OPÉRATIONS UNITAIRES

- [H] MENART Thomas Résolution d'un problème microbiologique d'une ligne de production. Validation du nettoyage
- [H] MULLER Alexandre Mise en place d'une unité de production de savons : contraintes techniques, légales et économiques
- [G] ROTHKRANZ Pierre Modelling of Gas Steam Turbine Processes for Engie Power Plant Units
- [H] WALRAVENS Goran Optimisation du fonctionnement de l'épuration anaérobie de Couplet Sugars

## 3. CONSTRUCTION

### 3.1. STABILITÉ ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

- [G] ANGHELOU Alexi Analyse pour Fiabilisation d'un Pont Roulant à Réglage Excentrique
- [E] BEN ABDELLAH Samir Comment renforcer les balcons en pierre bleue Belge ?
- [E] ENGLEBERT de TORNACO Cyprien Modélisation des incertitudes et analyse de risque d'un pont bac selon NBN EN 1990
- [G] MÉLON Maxime Etude de la préfabrication de panneaux sandwichs en béton au sein de l'entreprise Houyoux constructions
- [G] NOBLET Robin Etude d'une technique alternative en assainissement pluvial : les toitures stockantes
- [E] VERSCHRAEGEN Julie Optimisation du dimensionnement des armatures de poinçonnement via la création d'un outil de design automatique
- [E] WAMULUMBA NGALULA Jacqueline Valorisation des isolants recyclés

### 3.2. CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

- |     |                              |  |
|-----|------------------------------|--|
| [G] | COLARD Antonin               | Développement d'un dispositif de séparation magnétique de poudres d'acier et d'alliage de cuivre non fondus issues d'un procédé L-PBF bimétallique |
| [G] | LAGUESSE Laurent             | Poutre Vierendeel : Etude comparative et dimensionnement d'assemblages par platine d'extrémité   |
| [G] | PASQUIERS Romain             | Utilisation du Lean Construction dans le secteur du bâtiment et implémentation sur un cas pratique   |
| [G] | RIZZO Lorenzo                | Construction modulaire: Conception, réalisation et assemblage d'un complexe toiture au sol   |
| [E] | VAN OUTRYVE D'YDEWALLE Diego | Optimisation des structure de type pipe-rack   |

### 3.3. BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT

- |     |                   |  |
|-----|-------------------|--|
| [E] | FACHE ALVAREZ Luc | Optimisation de semelles isolées en béton armé avec automatisation des plans d'exécution en environnement BIM            |
| [G] | LY Martin         | Mise en œuvre d'un élément en béton préfabriqué pour la façade de l'immeuble ILOT B2-03, à Luxembourg-Ville              |
| [G] | RYCKAERT Charles  | Analyse et optimisation des enceintes à batardeaux de la nouvelle passe à poissons du domaine éclusier d'Ampsin-Neuville |

### 3.4. GÉOTECHNIQUE – MÉCANIQUE DES SOLS

- |     |               |   |
|-----|---------------|---|
| [P] | LURKIN Thomas | Développement du calcul de tassement et d'un laboratoire pour la caractérisation des sols |
| [E] | TOINET Simon  | Méthodes de modélisation d'interaction sol/structure                                      |

### 3.5. HYDRAULIQUE – ASSAINISSEMENT

- |     |                     |  |
|-----|---------------------|--|
| [G] | CARPENTIER Grégoire | Réinstallation et caractérisation du premier prototype d'hydrolienne fluviale en Suisse dans le canal de fuite de la centrale hydroélectrique de Lavey |
| [E] | VAN HEES Emmanuel   | Avant-port des écluses : Modélisation physique et numérique de l'écoulement au droit des môles ajourés   |

### 3.6. MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

- [E] DE WAEL Guillaume Les alternatives au polyuréthane projeté en utilisation sous chape
- [E] DELVIGNE Alexandre Etude de la transmission des rayonnements électromagnétiques dans les matériaux de construction
- [E] GOVAERTS Thomas Impact environnemental et cycle de vie, comparaison d'un bâtiment avec parois en maçonnerie traditionnelle et alternative en maçonnerie de chaux-chanvre
- [E] GOYENS Margaux Comment minimiser l'impact environnemental des matériaux de la structure d'un bâtiment multi-résidentiel en tenant compte des aspects technico-économiques ?
- [E] MASSON Sara Analyse du comportement de la migration de la vapeur d'eau à travers des parois types constituées d'isolants biosourcés
- [E] PEDROSO Ornella Etude de la composition des matériaux biosourcés et de leur impact dans la paroi

### 3.7. PROCÉDÉS ET TECHNOLOGIE

- [E] ALBERT Martin Analyse de l'impact du LEAN Construction sur chantier
- [E] BOUTTEFEUX Jérôme Développement de fiches de réemploi pour les procédures de récupération et de traitement de matériaux de construction et étude des outils existants utilisés afin d'augmenter la confiance et l'adoption de ceux-ci par le secteur de la construction
- [E] CAPELLE Elise Sera-t-il encore possible de lutter passivement contre la surchauffe dans les bâtiments de demain ? Etude de cas : une école à Ganshoren
- [E] CHALMAGNE Simon Comment améliorer la gestion des quantités d'un projet à l'aide d'une classification adaptée dans le cadre d'un projet BIM
- [E] de CROMBRUGGHE de LOORINGHE Victor Béton vert, où en est le marché aujourd'hui ?
- [E] de THEUX de MEYLANDT et MONTJARDIN Briec Réalisation d'un guide dans les choix d'un principe logistique liés aux spécificités d'un projet en Région bruxelloise
- [E] DE VLEESCHOUWER Valentin Etude de l'influence des conduites sur les performances acoustiques des chapes flottantes soumises aux bruits de choc
- [G] FERNANDES David Etude de la stabilité d'une charpente bois du XVIIIe siècle

[G]	JOSSE Olivier	Étude et dimensionnement d'une station indépendante de pompage et moulage de zinc
[P]	LURROT Pierre	Modélisation et optimisation du chantier de découverte à la carrière de Moha et généralisation des acquis en vue d'études de prix ultérieures
[G]	MARX Philippe	Conception d'une table de montage pour l'assemblage de treillis en bois
[G]	MASSART Benjamin	Dimensionnement et étude acoustique d'une construction en CLT
[E]	NICODÈME Romain	Les pieux géothermiques – étude de la rentabilité et implication au cas concret de l'Hôpital Bracops
[E]	PHILIPPON Paul	Développement d'un outil de prévisualisation du planning et des besoins logistiques sur chantier
[E]	PIROTTE Antoine	Système constructif Bhaluu : Standardisation des rehausses d'immeuble en milieu urbain
[E]	SON David	Adaptation de la démarche performantielle du calcul au feu des bâtiments avec structures bois
[E]	VANROY Guillaume	Optimisation et conception d'un nouveau procédé de fabrication de modules préfabriqués en béton armé
[E]	WALLEYN SPITS Nicolas	Comment un outil BIM simplifié améliore-t-il le suivi d'un projet de construction ? Mise en place et évaluation
[E]	ZAMATOVA Vladislava	Etude d'un habitat d'urgence pour reloger de manière décente une famille qui se retrouve sans abri suite aux dégâts causés par une catastrophe d'origine naturelle ou accidentelle

### 3.8. PATHOLOGIES ET RÉHABILITATION DES OUVRAGES

[E]	NGANTCHOU MBUTO Luc	Continuous improvement through quality records
-----	---------------------	--

## 4. ÉLECTRICITÉ

### 4.2. MACHINES ÉLECTRIQUES

[E]	LAMBERT Antoine	Model-based multi-objective optimization of the control of an IM motor for e-scooter application
-----	-----------------	--

## 4.3. ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- [H] SALAMONE Matteo Développement électronique et mécanique d'une charge active de courant à très haute tension, satisfaisant les contraintes thermiques et d'isolement, utilisée pour substituer les caractéristiques électriques spécifiques d'un tube à ondes progressives lors d'une étape clé du processus de fabrication d'un EPC

## 4.4. PRODUCTION – TRANSPORT – DISTRIBUTION – RESEAUX

- [E] MEYFROIDT Julien Création d'un modèle facilitant l'introduction de permis d'installation de panneaux photovoltaïques aux USA

## 4.5. APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRICITÉ

- [E] AIFA Antoine Amélioration de l'installation électrique et automatique de l'attraction "Stunt Flight"
- [H] BRIGHENTI-SIMONE Benjamin Analyse d'améliorations et dimensionnement du système Accubloc
- [E] NOTHOMB Diego Conception d'un dispositif de démagnétisation de microsattellites sur base de bobines d'Helmholtz
- [E] SOLON Elisa Development of a battery test bench and characterization of the Tesla Model S Lithium Ion Battery 18650 EV Module in order to its insertion in a vehicle converted to electricity
- [G] VERPOORTEN Grégoire L'électromobilité, une histoire de bornes ?

## 4.7. APPLICATIONS ÉLECTRIQUES DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

- [E] EL KAHTAOUI Youssef Etude des technologies de stockage pour des micro/mini projets d'installations photovoltaïques et application à un cas concret au Congo
- [G] GULZAR Jérôme Analyse et étude du concept de communauté d'énergie en vue du développement d'un module de facturation de communauté d'énergie
- [G] LELOTTE Lucas Programmation et intégration de composants électroniques servant à la mise en place d'une solution de borne bidirectionnelle « véhicule-to-grid »
- [G] MONTAGNA Michel Analyse de cycle de vie d'une batterie sodium-soufre

## 5. ÉLECTRONIQUE

### 5.1. SYSTEMES EMBARQUÉS – COMPOSANTS PROGRAMMABLES

[H]	DEMANGHON Antoine	Étude de faisabilité d'une communication interprocesseurs sur la plateforme STM32MP1
[G]	ERNST Florian	Réalisation d'un détecteur de spots infra-rouges
[H]	GAFTARNIK Julien	Proof of concept d'une pointeuse comprenant l'identification par RFID, empreinte digitale et reconnaissance faciale
[H]	HENNAUX Arthur	Preuve de concept d'une pointeuse implémentant RFID, empreinte digitale et reconnaissance faciale
[H]	KALE Ilim	Prototype d'une solution autonome pour obtenir des Feedback en ligne (Web) et sur sites (physique) : SmileIT
[H]	KUNZ Sabine	Conception d'une plateforme de test basée sur un FPGA pour la vérification des drivers d'un microcontrôleur
[G]	LEFEBVRE Thomas	Conception et optimisation du comportement dynamique et intelligent d'une articulation de genou
[H]	MALENGREAUX Thomas	Réalisation d'une régulation de température pour une application de chauffe par micro-ondes : partie microcontrôleur
[E]	TOURNEUR Bernard	Etude, conception et réalisation d'un datalogger Wireless M-Bus
[H]	VERHULST Pierre	Conception d'un modèle d'estimation de la consommation énergétique pour un système embarqué IoT

### 5.2. ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE

[G]	MOES Victor	Interrupteur capacitif alimenté par la tension réseau
-----	-------------	---

### 5.3. APPLICATIONS SCIENTIFIQUES – ÉLECTRONIQUE MÉDICALE

[H]	ALLARD Charlotte	Conception d'un réseau IoT d'IMU pour un système de monitoring des TMS
[E]	NOUHI Fatima	Traçabilité du matériel hospitalier : création d'un outil de prise de décision aux cliniques universitaires Saint-Luc à Bruxelles

- [H] SULPIZIO Logan Recherche et implémentation de méthodes permettant de vérifier la qualité de signaux cardiaques et d'en détecter les différents battements, dans un contexte de téléconsultation où les patients manipulent eux-mêmes l'appareil de mesure dédié

#### 5.4. MESURES – INSTRUMENTATION – SIMULATION

- [G] DEBOIT Samuel Étude et développement d'un système de mesure sans-fil pour les cuves de tests spatiaux (Focal) du CSL
- [H] GEMICI Ridvan Développement d'un outil d'acquisition d'observations de terrain et d'analyses en laboratoire pour un OAD de prévention des infestations de mildiou en temps réel
- [E] PINET Hadrien Module de détection et évitement des obstacles aquatiques pour robot autonome

#### 5.5. TÉLÉCOMMUNICATIONS – TECHNIQUES DE TRANSMISSION

- [E] GORJON Julien Conception et réalisation d'un boîtier ultra basse consommation à autonomie de 10 ans, communicant en NB-IoT
- [E] MARAFKO Oscar Etude et dimensionnement d'un objet IoT autonome en énergie pour la communication de données de capteurs

#### 5.7. SON – IMAGE – ÉCLAIRAGE – OPTOÉLECTRONIQUE

- [P] GROULUS Mathieu Identification via un système de vision de la position de cubes d'allographes pour préhension via un robot industriel 6 axes.

#### 5.8. APPLICATIONS DE L'ÉLECTRONIQUE

- [H] DURIEUX Julien Réalisation d'un testeur de batterie universel
- [H] MARY Bradley Evaluation d'un transistor à base de Nitrure de Gallium, en régime de commutation, pour des applications d'électronique de puissance dans le domaine spatial
- [E] SOYSAL Deniz Développement, programmation et validation d'un banc de test ICT (in-circuit test) pour une carte CPU

## 6. ENVIRONNEMENT

### 6.5. DÉVELOPPEMENT DURABLE

- |     |                   |  |
|-----|-------------------|--|
| [G] | CRUTZEN Tom       | Appui aux artisans du Sud dans l'étude de la fabrication d'une presse d'extraction d'huile de palmiste   |
| [E] | GARIN Léonard     | Étude de la construction d'un bateau de transport sur le réseau fluvial européen particulièrement de distribution en zone urbaine à propulsion électrique écologique |
| [G] | LEJEUNE Tom       | Elaboration d'une stratégie de rénovation énergétique profonde d'un immeuble à appartements des années 70  |
| [E] | MARTINET Benoît   | Analyse des données d'éoliennes en vue d'optimiser le productible  |
| [G] | WARNIMONT Olivier | Pré-étude sur l'implantation d'une unité de méthanisation Bioelectric hybride dans la commune de Bagne   |

## 8. GESTION

### 8.1. ORGANISATION DU TRAVAIL – PLANIFICATION – LOGISTIQUE – MAINTENANCE

- |     |                  |   |
|-----|------------------|---|
| [H] | ANZILAO Luca     | Mise en place des lignes de préparation des dispersants INOVOL PA4 et PA6 avec optimisation des paramètres de mise en solution dans le cadre de l'extension de production PVC |
| [P] | DUPONT Corentin  | Développement d'outils dans le cadre de la restructuration de la logistique interne.  |
| [P] | SION Bertrand    | Gestion d'un projet d'incubateurs pharmaceutiques   |
| [E] | VANDAELE Mathias | Développement et optimisation de solutions permettant le placement d'équipement au sein de maisons médicales, sans intervention physique du personnel.                        |

### 8.2. CONTRÔLE QUALITÉ – FIABILITÉ

- |     |                |   |
|-----|----------------|---|
| [P] | DUMONT Thibaud | Implantation d'un système de détection des fissures sur la griffe courbée des palplanches |
|-----|----------------|---|

## 8.3. SYSTÈME QUALITÉ – ENVIRONNEMENT – HYGIÈNE ET SÉCURITÉ

- |     |                              |  |
|-----|------------------------------|--|
| [E] | ARNO Vincent                 | Mise en place des aspects qualité et réglementaires pour l'évaluation clinique de la plateforme de conseils nutritionnels ZEST |
| [H] | MULHONDI KAVANGO<br>Musavuli | Analyse de risques et sécurisation d'une enrobeuse   |
| [E] | PIRAUX Lucien                | Solutions pour la gestion des fumées en cas d'incendie   |

## 8.4. RENTABILITÉ DES INVESTISSEMENTS – GESTION DES COÛTS

- |     |                |  |
|-----|----------------|--|
| [G] | SPODEN Nicolas | Analyse et identification des potentiels de réduction des coûts de production d'un véhicule VarioMAX |
|-----|----------------|--|

## 8.7. MANAGEMENT – STRATÉGIE – PROBLÈMES GÉNÉRAUX

- |     |            |  |
|-----|------------|--|
| [E] | LEUNIS Léo | Analyse du fonctionnement de ISB BT et recherche de solution pour optimiser et valoriser l'entreprise dans les nouveaux challenges actuels |
|-----|------------|--|

## 9. INFORMATIQUE

## 9.1. ANALYSE – MODÉLISATION

- |     |                   |   |
|-----|-------------------|---|
| [E] | AGBLEVOR Benedict | Analyse de la gestion de la migration des tableaux de bord liés aux performances vers un nouvel outil de business intelligence  |
| [H] | CANTAERT Jan      | Analysis and Simulation of the Internet Key Exchange v2 Protocol  |
| [E] | de BRIEY Charles  | Requirements analysis and design for the modernisation of a workflow engine   |
| [G] | FABRY Estelle     | Modélisation et amélioration de la surchauffe estivale d'une crèche au moyen d'une simulation thermique dynamique   |
| [E] | RABAI Anas        | Amélioration de la gestion et des livrables issus des services opérationnels fournis par l'équipe ING Belgique/Robotique - services informatiques basés sur ITIL et soutenus par le ITSM Snow |
| [E] | SPADIN Sacha      | Développement d'un nouveau système de signalisation de voie routière qui calcule et exécute les demandes en temps réel selon les législations de Trafic Régional                              |

- [G] VAN BROCKHOVEN Pierre Solar thermal energy in a district heating system: a case study analysis
- [G] WANSART Alex Développement d'un moniteur énergétique et de la qualité de l'air en vue de la sensibilisation dans les écoles

## 9.2. PROGRAMMATION – LOGICIELS – SYSTÈMES D'EXPLOITATION

- [E] ARGYRAKIS Yannis Développement d'une plateforme de gestion à distance dédiée à la maintenance préventive des modules Synthera
- [E] DENIS Maxime Analyse et construction d'une API back-end pour une application SaaS
- [E] DUCOULOMBIER Théo Etude, conception et déploiement automatique d'une application mobile destinée à la visualisation de données de monitoring de données de monitoring énergétique
- [G] DUMONT Bryan Développement de jeux vidéo pour mobiles en C#
- [E] EL BAKKOURY Yassine Développement d'un module Odo et d'une application mobile en Flutter pour la gestion des sanctions administratives communales
- [H] FALYS Benoît Développement d'un logiciel de programmation visuelle de traitement de données
- [E] KASSABEH Zakariya Implémentation de la technique de Geofencing sur l'app Immoweb
- [H] KEISER Loïc Création de fonctionnalités dans un logiciel de Visual Scripting
- [E] KOLAWOLE Abdoulaye Digitalisation de la gestion d'une flotte de véhicule de livraison pour BPOST, étude des besoins et réalisation d'un prototype
- [H] L'HOIR Damien Implementation of temperature control for microwave heating applications: graphical user interface part
- [H] LIU Xince Développement d'une application web permettant la visualisation de composants logiciels du système de gestion d'images médicales Telemis déployés en clientèle dans une optique de maintenance et de mise à jour
- [H] PEIGNEUX Gaëlle Integrating Cloud Dashboard libraries of NASA into future ESA Monitoring and Control System
- [P] SCHMADTKE Arnaud Développement d'une application web de visualisation des ressources et de leurs contextes dans l'entreprise.
- [G] SCHOLZEN François Optimisation de la performance énergétique du bâtiment : Étude de trois nœuds constructifs particuliers

- [E] SMITS Victor PWA vs application hybride - Recherche de la solution optimale pour la migration des applications natives de NETIKA
- [E] van SPROLANT Mathieu Développement d'applications dans le logiciel NX de Siemens pour assister l'ingénieur et l'opérateur dans la production
- 9.3. TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES
- [H] LARCIN Quentin Développement d'une interface de traitement d'images dans un environnement de programmation Visual Studio en langage C++
- 9.4. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET SYSTÈMES EXPERTS
- [E] DE MEEUS D'ARGENTEUIL Nicolas Optimisation des modèles de consommation énergétique d'un bâtiment et mise en place d'un système de gestion d'énergie
- [E] EL HADDADI Yassine Etude de l'influence des navetteurs sur la ponctualité des trains
- [H] FOLON Benjamin Recherche et développement d'un jumeau numérique 3D d'un robot 6 axes dans son environnement
- [G] PECORARO Samuel Implémentation de modèles Deep Learning détectant les déchets sur différents systèmes embarqués
- [E] SNYERS D'ATTENHOVEN Harold Detection of drifts on Proton Therapy machines through the analysis of irradiation logs
- [G] SYMENS Gaétan Development of an ammo recognition system using computer vision
- 9.5. RÉSEAUX INFORMATIQUES
- [H] MAINIL Alexandre Refonte du suivi d'une séquence de production : Création d'une application web sous NodeJS et ReactJS
- [H] STENUIT Nicolas Driving optical networking devices using a Software Defined Networking gateway.
- 9.6. INFORMATIQUE INDUSTRIELLE
- [H] KERKOUBA Sid Conception d'une IHM de génération, d'acquisition et de traitement de données en temps réel d'un boîtier électronique de test d'équipements de signalisation ferroviaire
- [G] SPRONCK Adrien Development and Analyses on the Turbine and Boiler Parts of Uvelia Incinerator Model

## 9.7. BASE DE DONNÉES

- [E] JABBOUR Hanâ Étude et implémentation d'une solution d'analyse de données en vue d'un audit des accès aux données du réseau NAS des Cliniques Universitaires Saint-Luc

## 9.8. TECHNOLOGIE DE LA COMMUNICATION

- [E] de MEEUS d'ARGENTEUIL Julien Development of a Tele-medicine device for medical robots

## 10. MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

## 10.1. MÉTHODES NUMÉRIQUES ET ÉLÉMENTS FINIS

- [G] CHENIAUX Samuel Conception d'une vanne de régulation pour banc compresseur de turbine industrielle

## 10.2. PROBABILITÉS ET STATISTIQUES

- [G] REGNIER Victor Paramétrisation et optimisation de procédés de fabrication additive métallique par plan d'expériences

## 11. MÉCANIQUE

## 11.1. MÉTROLOGIE ET INSTRUMENTATION

- [G] JASSOGNE Antoine Optimisation de la géométrie de mesure pour un instrument XRF lunaire
- [E] VANDENSCHRIECK Natalia Reconception de la chaîne automatisée de comparaison d'horloges atomiques de l'Observatoire Royal de Belgique servant à la réalisation du temps légal belge

## 11.2. FABRICATION MÉCANIQUE

- [E] ERREMBULT DU MAISNIL ET DU COUTRE Arnaud Etude de faisabilité : Blocage d'un contre-écrou sur une vis à bille, un mécanisme de découplage innovant
- [H] JULLIEN Philippe-Alexandre Conception d'une passerelle piétonne dans le cadre du projet Life

[E]	KIES William	Détermination des causes de la déformation mécanique du système de roue libre d'un moyeu de vélo et recherche de solutions
[G]	LAHAYE Thibaud	Modular grape seed oil extraction plant design for wine industry in South Africa
[H]	LAZZERINI Sacha	Conception, fabrication et installation de deux armoires mécanisées pour la nouvelle attraction de Walibi
[G]	OLISCHLÄGER Yann	Modular milk processing plant design for rural areas in Kenya
[H]	TEIRLIJNCK Louise	Dimensionnement et conception d'un système de lavage automatisé pour le béton désactivé
[H]	THIBAUT Tom	Adaptation d'un injecteur 3 cylindres à l'injection bi composant
[E]	VERHOFSTADT Jordan	Etude sur le refroidissement des boîtes de vitesses automatiques

### 11.3. CONSTRUCTION DES MACHINES

[P]	CASTIAUX Sébastien	Développement et implémentation d'une lance télescopique pour un robot de shotcreting
[E]	DEBOECK Maxence	Rénovation d'un simulateur de laminage à chaud par presse uniaxiale
[H]	DEMARET Jérôme	Conception d'un plan de rénovation technique de l'attraction Melody Road à Walibi Belgium
[G]	DEPAYE Thibault	Développement d'une matrice de micro-vannes piézoélectriques pour un procédé de fabrication additive à lit de poudre multi-matières
[G]	FORET Gilles	Étude, conception et mise en fabrication d'un banc de rodage de freins
[G]	GUISSEN Fabien	Conception d'un système de tubage automatisé de séparateurs de faisceaux de tubes
[G]	HENKES Lukas	Construction d'une station de dépassement et de tampon pour palettes de production dans une installation de fabrication de prémurs en béton
[G]	KOHNEN Mathieu	Development of a semi-automatic workstation for foam application on sealant tires
[E]	MENGHOUM Yassir	Etude et conception d'un mécanisme d'élévation
[G]	MICHEL Cédric	Etude et conception d'un pont roulant gerbeur automatisé dans le but d'optimiser un espace de stockage

- [G] RIDOLFI Fabrice Étude en vue d'une optimisation d'un processus de moulage de réservoir en silicone pour stérilets hormonaux destiné à l'industrie pharmaceutique
- [H] ROBBEN Adrien Conception et automatisation d'un système de tir autonome pour lanceur de balle de hockey sur gazon
- [G] SCHYNS Frédéric Analyse, modélisation et réalisation d'une assembleuse de viroles et de fonds pour des machines agricoles
- [G] THIRY Timéon Réalisation d'un avant-projet de rehausse mobile pour déversoir de centrale hydroélectrique basse chute
- [E] VAN DER ELST Augustin Réalisation d'un banc d'essais de rotor anti-couple pour comparatif des performances aérodynamiques et vibratoires
- [G] VANROYE Joeri Conception et sécurisation d'une unité de fabrication additive

#### 11.4. TECHNOLOGIE – PRODUCTIQUE

- [E] FLAMANT Pierre Rénovation mécanique, électrique et automatique d'une ligne de production de pralines
- [E] GILLET Clément Analyse des méthodes de travail utilisées dans un atelier d'usinage en vue de proposer des améliorations, accroître la productivité et fiabiliser les processus
- [G] LEMPEREUR Florent Étude et réalisation d'un nouveau procédé pour la fabrication de carreaux de ciment
- [E] NOËL Colin Étude de l'automatisation d'une ligne de contrôle par ultrasons de pièces aéronautiques de production

#### 11.5. MAINTENANCE

- [E] ANANABA Mathieu Maintenance prédictive dans une installation automatisée entraînée par des moteurs électriques
- [G] BOUTEFEU Alexandre Elaboration of a test bench for a pitch system of an ENERCON E82 wind turbine
- [E] BUELEN Maxime Contribution à la maintenance prédictive d'une installation de galvanisation industrielle par étude vibratoire du rouleau de bain
- [G] GENGOU Maxime Étude d'un accessoire de levage par préhension de goujon
- [G] KREPSKI Pierre-Antoine Automatisation et optimisation d'une fabrication de produits à base de coton

- [G] WILLEMS Bertrand Etude et optimisation des lignes d'embouteillage

## 12. MÉCANIQUE DES FLUIDES ET THERMODYNAMIQUE

### 12.1. INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ET/OU DE CHALEUR

- [E] CHENOUILI Abdelkarim Etude de faisabilité d'un projet de réhabilitation d'une ancienne meunerie en un lot d'appartement
- [G] CORBESIER Thomas Etude de l'autoconsommation de l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques, en vue de réduire le coût du tarif « prosumer »
- [E] EL BAKKALI Mohammed Modernisation et amélioration de la gestion du chaud dans le bâtiment Schneider Uccle

### 12.2. PRODUCTION ET TRANSFERT D'ÉNERGIE CALORIFIQUE OU FRIGORIFIQUE

- [E] AZOUZI Rayane Etude de désenfumage d'un projet en cours de réalisation avec simulation dynamique 3D à l'aide du logiciel PyroSim
- [G] DENOMERENGE Antoine Comparaison entre trois techniques de production de chaleur dans le secteur de la grande distribution : la pompe à chaleur fréon, la pompe à chaleur ammoniac et la pompe à chaleur propane
- [E] TOUHAMI Ilias Conception d'un frigo solaire mobile destiné à assurer la chaîne du froid dans le transport de viande au Cameroun

### 12.3. INSTALLATIONS DE CONDITIONNEMENT D'AIR – CHAUFFAGE

- [E] AL BADAoui Aâmir Etude et réalisation d'un système de supervision HVAC
- [H] DUPONT Lionel Optimisation énergétique de la ventilation de salles propres soumises à un haut niveau de confinement
- [H] HAUREZ Alexandre Etude comparative de 3 solutions techniques de chauffage et refroidissement appliquées à un bâtiment tertiaire
- [P] HENROT Hélène Dimensionnement de l'installation HVAC d'un bâtiment tertiaire

- [H] LEFEVRE Simon Outil informatique pour déterminer la rentabilité de systèmes de production, de gestion et de stockage d'énergies associés à une pompe à chaleur
- [H] MARZAROLI Nicola Étude technico-économique d'un plancher réversible en mode rafraîchissement dans le secteur résidentiel
- [H] REINFELD Maxime Conception énergétique d'un hébergement collectif pour jeûnes en difficulté en respectant les impositions QZEN et optimisation du système de chauffage et d'eau chaude sanitaire
- 12.4. ÉNERGIES RENOUVELABLES
- [H] DHONDT Gothane Analyses énergétiques et propositions d'amélioration de l'autosuffisance d'un bâtiment multi-usages
- [G] FIMPA Wahewo Pour un complexe multifonction, optimisation de la production d'énergie renouvelable sur base de la simulation horaire du fonctionnement des techniques spéciales
- 12.5. RÉGULATION ET GESTION DES INSTALLATIONS – PROCESSUS THERMIQUE
- [E] COLIN Thibault Thermal Modelling: From CFD simulation to resistance network
- [E] JACQUERYE Antoine Mise en place d'expériences didactiques et automatisées sur une installation HVAC
- [P] MAITREJEAN Nicolas Bilan d'un séchoir de palettes
- 12.6. MACHINES THERMIQUES – THERMIQUE INDISTRIELLE
- [H] BAUGNÉE Pierre Etude et optimisation énergétique d'un sécheur sous-vide
- [H] CINO Leandro Etude des performances d'échangeurs de chaleur au sein d'une unité de production d'ammoniac
- [H] DILLIES Julien Etude d'un circuit de refroidissement centralisé pour une ligne de production
- [H] GOTIAUX Damian Scale-up d'un procédé thermochimique et intégration potentielle de la géothermie
- [H] JOURQUIN Maxime Etude comparative d'une machine frigorifique à moteur gaz dans le cadre de la création d'un pôle énergétique froid dans un hôpital
- [H] SCATOZZA Luca Etude de faisabilité de la récupération de chaleur sur un réacteur biochimique

- [H] STEVENS Emeric Réalisation d'une méthodologie pour la conception d'un réseau de chaleur urbain et étude de stockage thermique

#### 12.7. HYDRAULIQUE – PNEUMATIQUE – AÉRODYNAMIQUE

- [P] BURON Adrien Consolidation de la fourniture en air comprimé  
 [E] MOENAERT Gilles Conception d'un système d'irrigation et d'arrosage intelligent et autonome

#### 12.8. THERMIQUE DU BATIMENT

- [E] CHAUFOUREAU Mateo Développement de nouveaux outils de mesures et d'une application pour la réalisation des audits énergétiques  
 [E] DAL Bastien Simulation thermique dynamique et étude technico-économique de différentes solutions HVAC de l'école du Bempt  
 [G] DE SY Cédric Stratégie bas carbone pour la construction d'un bâtiment multifonctions en site urbain  
 [G] HAVELANGE Martin Elaboration d'un modèle prédictif de la surchauffe des bâtiments résidentiels sur base de simulations thermiques dynamiques  
 [H] JUVENÉ Valentin Développement d'un outil simplifié permettant d'estimer la surchauffe  
 [G] LAMBIN Lucien Dimensionnement technique et analyse de la durabilité d'une résidence à appartements suivant les critères énergétiques luxembourgeois  
 [E] VANDERFELT Marie Analyse des différentes stratégies de lutte contre la surchauffe grâce à un logiciel de simulation thermique dynamique  
 [H] VANDERSTICHELEN Quentin Développement d'un outil de prédimensionnement pour trémie technique

### 13. PHYSIQUE

#### 13.4. AUTRES

- [G] COLLES Simon Etude et conception financière et technique d'un magasin container en région liégeoise  
 [G] DEMOULLING Egon Intégration d'un processus d'interprétation d'images dans un environnement domotique : réalisation d'un prototype

- [G] HAJRA Wadir      Design and Assessment of a Shutdown Device in a Scroll Compressor for Refrigeration Applications
- [E] HALUT Antonin      Création d'un registre national des pacemakers implantés pour stimuler la branche gauche du faisceau de His (CTP - LBBaP)
- [E] MUHAREMI Erzen      C-UAV

Les directions des différents établissements remercient le comité d'édition :

Le Père Laurent CAPART s.J., Messieurs Benjamin BERGER (ECAM), Mikaël DHEN (ECAM), Joël VOISIN (HELHa), Thomas ANDRIEN (HELMo-Gramme) et Vincent HANUS (HENALLUX - Pierrard).

Mesdames Anne-Michèle JANSSEN (HELMo-Gramme) et Valérie SERONT (HELHa),  
et Messieurs Xavier VAN DEN DOOREN (ECAM) et  
Michel BERNARD (HENALLUX - Pierrard),  
Directeurs





## Secrétariat Général de l'Enseignement Catholique asbl

en Communautés française et germanophone

avenue E. Mounier 100 • 1200 Bruxelles

<http://enseignement.catholique.be> • [segec@segec.be](mailto:segec@segec.be)

D/2022/7362/4001