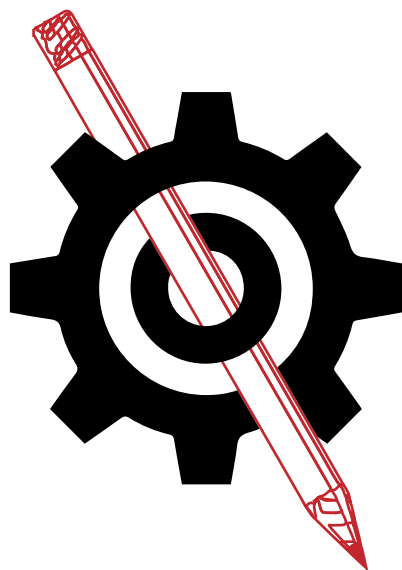


Revue Scientifique  
des  
**Ingénieurs Industriels**



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

Bruxelles  
Liège  
Mons & Charleroi  
Virton

Édition n°35 (2021)  
[www.isilf.be](http://www.isilf.be)

Revue scientifique n°35 – Mai 2021



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

**ECAM  
GRAMME  
ISICht  
PIERRARD**

**Bruxelles  
Liège  
Mons et Charleroi  
Virton**

**Edition n° 35  
mai 2021**



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.



# (I)<sup>2</sup>A

## L'ingénieur et l'IA

### 1. Introduction : un sujet vaste

Une certaine dose d'inconscience, peut-être même de folie, est sans doute nécessaire pour oser accepter la demande de rédaction d'un éditorial qui devrait aborder les questions éthiques soulevées par le développement de l'intelligence artificielle. Folie et inconscience, tant le sujet à traiter est vaste, d'autant plus que le développement de l'intelligence artificielle est quasi exponentiel.

Ajoutons que je ne suis pas ingénieur, ce qui ne facilite pas les choses pour repérer les enjeux éthiques d'un sujet... qui me dépasse. Je remercie d'autant plus les membres du Comité de rédaction de la revue dans laquelle je fais mon entrée pour la confiance qu'ils veulent bien m'accorder.

Néanmoins, à force de côtoyer des ingénieurs, qu'ils soient mes étudiants en formation initiale ou acteurs dans la vie professionnelle à l'occasion de jurys ou de visites d'entreprises, j'ai fini par comprendre les grands principes de sujets techniques divers plus passionnants les uns que les autres et j'ai progressivement partagé la logique de l'ingénieur.

C'est l'un d'eux qui m'amène à relever le défi de ce court texte. En décembre 2017, Amaury présentait, dans le cadre d'un cours d'éthique, un travail qu'il avait intitulé : « *L'homme bionique* ». J'avais été interpellé par les questions soulevées par « mon » étudiant, montrant la transformation annoncée de l'être humain vers un état hybride alliant anatomie et technique. Amaury concluait sur l'hypothèse d'une nouvelle étape dans l'évolution du vivant avec l'avènement d'une nouvelle espèce humaine qu'il appelait dans la ligne d'autres scientifiques : « *L'homme bionique* ».

Je m'étais promis de revenir sur le sujet pour l'approfondir quelque peu. Je vois dans la proposition d'aujourd'hui, une belle occasion d'honorer la promesse que je m'étais faite à l'époque.

L'ouvrage est sur le métier, il faut donc y aller.

Le lecteur qui attendrait un condensé des fondements, des axes et des contenus d'une éthique de l'intelligence artificielle sera nécessairement déçu.

Je choisis au contraire de limiter mon propos pour des développements courts qui sont davantage à considérer comme des ouvertures vers un processus de construction d'une éthique pour l'intelligence artificielle qui devrait se réaliser au fur et à mesure des avancées de celle-ci. Je considère en effet l'éthique comme le catalyseur de l'humain, la limite de l'inter - dit qui permet un dialogue en profondeur à la recherche de ce qui fonde l'humain et qui me fait être. L'éthique est ainsi toujours en actes. Une fois les fondamentaux posés, l'éthique doit rester en phase avec tout ce qui se passe dans l'existence humaine et poser les jalons nécessaires pour garantir l'humain. Elle se fait ainsi en partie en accompagnant les avancées humaines, un peu comme la locomotive avançait à la conquête de l'ouest à mesure que les rails étaient posés et fixés pour construire la voie ferrée.

Dans ce qui suit, je limiterai mon propos autour de trois axes : tout d'abord, le développement des sciences et des techniques, celui de l'homme bionique ensuite, et enfin la question de la morale de l'intelligence artificielle.

## **2. Pistes pour une démarche éthique**

### **2.1. Le développement des sciences et des techniques**

D'un point de vue éthique, le développement de l'intelligence artificielle s'inscrit pleinement dans celui des sciences et des techniques, et l'on ne peut que s'en réjouir.

Le développement des sciences et des techniques est éthique dès lors qu'il participe au développement du bien commun. Le bien commun se distingue de l'intérêt général et vise la mise en place de toutes les conditions matérielles, sociales, morales, culturelles, économiques, de formation et d'éducation qui permettent à chaque personne, considérée individuellement ou en tant que membre d'un groupe, d'une communauté ou d'une collectivité de devenir pleinement elle-même, de développer ses talents, de vivre ses vocations conformément à son identité spécifique d'être humain. L'intérêt général vise le maintien du système, le souci du bien commun se traduit par une attention personnalisée aux membres du système et à la qualité des relations qu'ils entretiennent entre eux.

Tous les humanistes devraient pouvoir se retrouver dans cette définition du bien commun et la colorer sur base des conceptions et des convictions de chacune et de chacun, dans le respect de la liberté de chacun, comprise comme cette capacité de devenir pleinement lui-même selon la spécificité de son être. Je vise ici la liberté intérieure de l'homme en lien étroit avec la libération de tout ce qui entrave cette liberté et enferme l'homme dans une dépendance de ses passions, de ses addictions, de ses pulsions. L'individu est invité, s'il le désire et s'il le peut, à se libérer de tout ce qui est brut en lui pour devenir un être raffiné, qui sait se tenir et se maîtriser.

Le bien commun favorise cette rencontre de chaque homme avec lui-même. La technique en est un instrument privilégié. Non seulement par le confort matériel qu'elle permet, mais aussi par le questionnement éthique qu'elle suscite.

La part de la technique dans la maîtrise de la nature n'est plus à démontrer. Avec la conséquence du passage progressif d'un état subi à un état construit : au rythme des avancées techniques, l'homme s'est de plus en plus et de mieux en mieux libéré des nécessités et des contraintes naturelles pour accéder à une vie plus confortable et plus agréable.

Habitation et vêtement pour échapper aux rudesses du climat par les techniques liées à l'architecture, au tannage, au travail des cuirs et des peaux. Poterie, cuisson, épices, boissons fermentées et alcoolisées, natte, tressage, tissage pour des litières, pour répondre aux besoins naturels de la faim, de la soif et du sommeil.

Par la technique encore, l'homme peut quitter son milieu naturel de la terre ferme pour évoluer dans le milieu aquatique et marin par la natation ou la navigation qui s'est développée des barques creusées dans un tronc d'arbre aux bateaux à voile et à moteurs et aux sous-marins à différentes propulsions. Évolutions similaires pour le déplacement dans les airs : de la montgolfière aux navettes spatiales, en passant par les parachutes, les avions à hélices ou à réaction.

Même évolution et même affranchissement des contraintes par la technique dans le domaine de la communication : du sémaphore à feux jusqu'aux « Iphones » et « smartphones », en passant par les téléphones classiques à cadran ou à touches, sans oublier les cabines téléphoniques que les plus anciens d'entre nous ont encore connues.

Dans chaque situation, les avancées vont dans le même sens d'une maîtrise de l'homme sur la nature grâce à la technique et d'un développement de celle-ci pour apporter une solution aux problèmes posés à l'homme par la nature.

Michel Onfray évoque d'une manière juste l'impact des sciences et des techniques sur la civilisation : « *L'histoire de l'humanité coïncide avec l'histoire des techniques. Des inventions suffisent ainsi parfois à déclencher de véritables révolutions de civilisation : le feu par exemple, et les techniques associées, la métallurgie, la fonderie, l'usage des métaux, donc les outils pour l'agriculture ou les armes pour la guerre ; la roue également, et la modification des distances avec l'invention de moyens de transports d'hommes, d'animaux, de biens, de richesses, de marchandises, d'alimentation, d'où le commerce ; puis le moteur, dont l'énergie rend possible les machines, donc l'industrie, les manufactures et le capitalisme, mais aussi les voitures, les camions, les trains, les avions ; l'électricité transforme également*

*la civilisation en permettant l'évolution des moteurs, certes, mais aussi en transfigurant le quotidien domestique : chauffage, éclairage, électroménager, radio et télévision. » [1].*

Les sciences et les techniques sont à la couture entre nature et culture. Elles font passer l'homme de l'une à l'autre, la culture étant la nature transformée, maîtrisée et signifiée. Le bien commun s'inscrit dans ce passage.

Il y a cependant des revers à la médaille : les trains déraillent, les avions se crashent, il n'y a pas de voitures sans accidents, ni de bateaux sans naufrages. Sans compter que la maîtrise de la nature s'est emballée sans maîtrise jusqu'à la maltraiter, la défigurer et la détruire. La planète est en péril et l'heure en est, de manière urgente, à la maîtrise de la maîtrise. La question de notre survie est à l'ordre du jour et à nouveau, sciences et techniques sont appelées à relever de nouveaux défis pour produire et consommer d'une manière éco-responsable. Sans compter les questions liées à la juste répartition des technologies issues du développement des sciences et des techniques.

L'intelligence artificielle s'inscrit pleinement dans l'évolution qui vient d'être rapidement retracée.

## **2.2. L'avènement de l'homme bionique**

Dans ce qui suit, nous nous inspirons en tout ou en partie de propos glanés sur le net ou dans l'actualité, et dont les références sont reprises plus loin.

L'informatique, le virtuel, l'intelligence artificielle sont l'aboutissement de l'évolution des sciences et des techniques qui vient d'être évoquée. Leur développement explose à des vitesses vertigineuses et nous fait entrer dans un changement radical de nos manières humaines de vivre dont nous sommes loin de mesurer les conséquences. Certains n'hésitent pas à parler de mutation, de changement de paradigme.

Les progrès dans le domaine sont fulgurants [2].

Tout débute avec l'informatique qui traite l'information de manière automatique au moyen de machines capables de traiter l'information dont il est question grâce à des algorithmes qui livrent une série d'instructions à suivre dans un certain ordre pour effectuer une tâche de manière automatique sans avoir besoin de comprendre ou de réfléchir. Ils agissent un peu comme une recette de cuisine. Cette série d'instructions est alors traduite dans un langage compréhensible par un ordinateur et constitue le programme informatique. Tout programme qui décrit un algorithme peut être exécuté parfaitement et très rapidement par un ordinateur.

Dès les années 50, les chercheurs se sont mis en quête d'algorithmes qui rendraient les ordinateurs aussi intelligents que l'être humain. Il y eut de belles avancées jusque dans les années 70, mais les résultats escomptés n'étaient pas au rendez-vous. Il fallut déchanter, ce qui provoqua la diminution des fonds disponibles pour la recherche dans ce domaine. Ce fut le premier hiver de l'intelligence artificielle.

Il y eut un nouvel engouement avec l'avènement des systèmes experts qui tentent de reproduire les raisonnements d'un expert comme un médecin par exemple. Le problème était qu'il fallait entrer les connaissances des hommes dans les machines, alors que le but était que les machines puissent apprendre toutes seules. Ce fut un second hiver pour l'intelligence artificielle.

Coup de tonnerre à la fin des années 90 : Deep Blue, le superordinateur d'IBM bat le champion du monde d'échec, Gary Kasparov. Et un coup de tonnerre pouvant en cacher un autre, en 2016, l'algorithme de Google bat un des meilleurs joueurs de Go, alors que cela n'était pas envisagé comme possible avant plusieurs années.

Il devient dès lors légitime de se poser la question de savoir si les ordinateurs sont intelligents ou pas, ce qui suppose de définir au préalable ce qu'est l'intelligence biologique pour définir en regard, celle de l'intelligence artificielle.

Les sciences cognitives étudient l'intelligence humaine et ont permis d'identifier les différents mécanismes qui sont à l'œuvre dans le fonctionnement de la pensée qui nous permet de percevoir, de parler, de bouger, de mémoriser, de raisonner, de planifier, de faire preuve d'abstraction, de créativité. Il s'agit des fonctions cognitives.

Pour simuler l'intelligence humaine, l'idée était de reproduire les fonctions cognitives. Les chercheurs ont privilégié deux approches qui sont complémentaires et qui sont à l'image de notre façon d'apprendre : soit par transmission de connaissances, soit par tâtonnement à partir de l'observation du monde et de l'expérimentation.

D'un côté, l'approche symbolique essaye de reproduire le processus cognitif de l'être humain en tentant d'imiter la manière dont il raisonne et utilise ses connaissances. La transmission des savoirs reposant sur un ensemble de savoirs, de règles et de procédures, il est possible d'expliquer la démarche suivie, étape par étape pour accéder au savoir. Sur ce modèle, un programme expliquant à la machine comment procéder étape par étape peut ainsi être écrit. La machine pourra ensuite l'exécuter beaucoup plus rapidement que n'importe qui et sans étourderie. Cette approche a eu le vent en poupe dans les années 80 et a donné naissance aux systèmes experts dont nous avons déjà parlé et qui, pour rappel, essayent de reproduire le raisonnement d'un expert comme un médecin ou un juriste.

D'un autre côté, l'approche numérique tente de reproduire comment l'être humain apprend par essai et erreur. Cette approche occupe le devant de la scène aujourd'hui et est plus complexe que l'approche symbolique : l'explication de comment nager ne remplace en rien l'expérience concrète de la nage. C'est en nageant que l'on sait nager !

Et là réside le défi technique... Car il s'agit de rendre l'ordinateur intelligent à partir de ce que le technicien lui injecte, ce qui n'est pas une mince affaire quand il s'agit d'expérience et de savoir-faire !

Il convient de garder à l'esprit la distinction entre l'intelligence biologique et l'intelligence artificielle.

Être intelligent pour un être vivant, c'est savoir répondre rapidement à une situation complexe, c'est trouver la réponse satisfaisante plutôt que la réponse optimale, c'est savoir trouver ce qui est important dans une information, c'est savoir s'adapter à une situation si les conditions changent ou réagir à une situation imprévue. Et tout cela en prenant appui sur une stratégie caractéristique du vivant qui mélange émotion, motivation, créativité. Sur ces terrains, l'intelligence du vivant dépasse l'intelligence artificielle. Sa force est la complémentarité de ses aspects émotionnels et logiques. Les intelligences artificielles au contraire sont très techniques et très spécifiques : elles ne peuvent accomplir que la tâche pour laquelle elles ont été programmées ou paramétrées : ainsi le programme qui bat le champion du monde d'échec, est mis en échec pour reconnaître un lapin ! En revanche, les intelligences artificielles sont ultraperformantes et souvent meilleures que les humains dans l'accomplissement d'une tâche précise. Sans doute est-il plus indiqué de parler d'intelligences artificielles en visant ainsi leur diversité en fonction des tâches à accomplir plutôt que d'intelligence artificielle qui serait mise en concurrence à l'intelligence du vivant. Convenons donc que parler d'intelligence artificielle, c'est considérer les multiples intelligences programmées pour accomplir des tâches spécifiques.

Jeu de mots assurément. Au singulier ou au pluriel, l'intelligence artificielle est repartie dans un développement aux allures exponentielles grâce à la puissance de calcul des ordinateurs ainsi qu'à l'optimisation des algorithmes. Les programmes de reconnaissance vocale, de reconnaissance d'image, ou ceux de traduction sont particulièrement performants grâce à l'apprentissage automatique. Dans les maisons ou dans la société, dans tous les domaines allant de la finance à l'agriculture, en passant par la médecine et l'éducation, l'intelligence artificielle est sortie des laboratoires et est présente. L'intelligence artificielle impacte notre quotidien au travers de l'utilisation des objets de notre quotidien : appareil photo, enceintes connectées, mécanisme de recommandation sur les réseaux sociaux. Nous baignons dans un monde d'algorithmes.

D'un point de vue éthique, le développement de l'intelligence artificielle s'inscrit dans le juste service du bien commun dès lors qu'elle participe à soulager la personne humaine de ce qui pourrait entraver sa liberté.

À titre d'exemple, le témoignage émouvant de cette artiste-peintre, amputée de trois membres à la suite d'un accident de la vie, et qui apprend de nouveau à dessiner grâce à un bras bionique. Les équipes de France Télévisions suivent Priscille Déborah depuis deux ans dans ses avancées. Le 23 décembre dernier, elle expliquait dans le Journal de 20 heures sur France 2 [3], comment elle s'exerce avec ténacité pour s'approprier son nouveau bras en le commandant grâce à la pensée. Pour cela, les chirurgiens ont dû réveiller plusieurs nerfs de son coude et les ont reconnectés à plusieurs muscles du bras. Ce sont leurs mouvements captés par des électrodes qui activent la prothèse. Il s'agit d'être extrêmement précis. La prothèse doit en effet coller le plus possible au muscle de la patiente. Le prothésiste qui suit Priscille Déborah depuis plusieurs années fabrique chaque mois de nouvelles emboîtures pour atteindre la précision nécessaire. Le prothésiste explique qu'un trop fort serrage avait provoqué un écart d'à peine 3 millimètres entre le bras et la prothèse. Le muscle ne pouvait pas travailler correctement lors de la contraction, ce qui provoquait des mouvements contradictoires. C'est dire la prouesse des équipes médicales pour réussir ce qu'elles ont accompli. Depuis mars 2020, Priscille Déborah porte réellement son bras bionique. Il lui reste désormais à apprendre à coordonner toujours mieux ses gestes et à maîtriser sa force, par exemple quand elle doit casser un œuf. L'artiste est dotée d'une force et d'un courage exemplaires. Elle annonce avec plein d'optimisme et avec un large sourire aux lèvres que si elle s'exerce chaque jour à dessiner, dans un an on peut se revoir pour sa prochaine exposition.

À titre d'exemple encore, le propos de Thierry Geerts, patron de Google Belgique, lors de la promotion de son dernier livre « *Homo digitalis* » indiquant que l'exactitude d'un diagnostic à la suite d'une mammographie est de quelque 33 % et monte à 98% dès lors qu'il est posé via l'assistance de l'intelligence artificielle : les algorithmes permettent en effet de regarder les clichés pixel par pixel et de détecter ainsi toute anomalie [4-5].

À titre d'exemple enfin, l'intelligence artificielle au service de l'embauche : l'intelligence artificielle se met à recruter. Il ne suffit donc plus de se faire remarquer par un recruteur ni de convaincre un employeur potentiel, il faut encore viser la validation de l'algorithme qui décortique tout ce qu'un candidat produit. Les uns diront le bénéfice de n'être jugé que sur les compétences, les autres objecteront que l'algorithme ne permet de trouver que ce que l'on souhaite trouver et écarte ainsi toute occasion pour une diversité de profils. Être recruté par des robots signifie la fin des entretiens classiques : ce sont des algorithmes qui classent et qui évaluent les candidats avec 25% de chances seulement d'être pris si l'on fait partie des mauvais can-

didats et 90 % si l'on fait partie de la bonne catégorie. L'intelligence artificielle analyse la voix, le discours, mais aussi les expressions du visage, un froncement de sourcils, un sourire ou un petit geste. Tout cela fait augmenter la note ou la baisser.

Les avis sont partagés sur la confiance à réserver aux machines ou au contraire à l'inquiétude à leur manifester. Les uns soulignent le caractère impersonnel d'un recrutement par la machine, indiquant l'absence du côté émotionnel et le manque de ressenti : « Il faut arrêter de vouloir remplacer les humains coûte que coûte ». Les autres s'accrochent au robot : « S'il est formaté et s'il pose les bonnes questions par rapport à l'emploi visé, pourquoi pas ! ».

L'algorithme scanne le CV, l'analyse, en extrait les données utiles et attribue une note au candidat en fonction des 6 millions de CV déjà analysés par la machine. Plus les compétences du candidat correspondent au profil des employés précédemment recrutés, plus le pourcentage attribué sera élevé. Une manière plus impartiale de traiter les candidatures selon certains, l'algorithme se consacrant uniquement sur les compétences, les qualités, les expériences, ce que le candidat sait faire ou non, indépendamment de la présentation formelle du CV. De facto, selon les partisans de l'intervention de la machine, le traitement des candidatures sera plus juste et plus efficace, avec un gain de temps considérable par la focalisation sur les seuls CV proches des besoins. Ces mêmes convaincus de l'efficacité de la machine attestent ne pas passer à côté de certains CV atypiques mais au demeurant intéressants, dès lors qu'ils gardent la main sur le choix des CV et qu'ils peuvent rencontrer physiquement les candidats sélectionnés. Reste que la première sélection est opérée par la machine.

Certains algorithmes vont plus loin : aux USA, les expressions du visage sont analysées à partir de courtes vidéos. Un signe peut trahir la personnalité, la voix et le discours sont scrutés par l'intelligence artificielle à partir de 200 critères allant de la richesse du langage à l'élocution. Ainsi, sur cinq minutes de vidéo, le candidat utilisant 800 mots différents est considéré comme maîtrisant mieux son sujet que celui qui en utilise seulement 150. Le but recherché est de mettre en avant des éléments factuels dans le processus de recrutement.

L'intelligence artificielle apparaît moins discriminante que les humains. C'est oublier que l'algorithme n'est jamais neutre. Il apprend sur des données qui reposent sur les choix de ceux qui l'ont construit. Si un algorithme est entraîné sur base de recrutements passés, et si ces recrutements ne sélectionnaient que des hommes, ce que l'algorithme va pouvoir observer, il va reproduire le biais existant et ne présenter que des CV rédigés par des hommes.

De plus, face à l'efficacité pseudo-neutre de la machine, certains candidats auraient trouvé la parade d'adopter volontairement le discours et les expressions préférées de la machine, de quoi pirater finalement les robots.

Les exemples qui viennent d'être présentés s'inscrivent dans la prodigieuse aventure de l'humanité qui est marquée par des progrès considérables. Ceux-ci sont loin de s'arrêter et l'on ne peut que s'en réjouir.

L'intelligence artificielle permet des avancées spectaculaires qui participent au bien-être et au vivre-mieux de l'humain. D'un point de vue éthique, il s'agit d'acquis indéniables et hautement appréciables. Mais il importe de pousser le questionnement plus loin et d'envisager quelle devrait être la morale de l'intelligence artificielle. Et là, je resterai fidèle à la posture d'un regardeur furtif qui pourra voir l'étendue de la tâche à accomplir mais qui n'en dressera que des contours qui devraient être affinés par une étude systématique qui dépasserait le cadre de cet éditorial.

### **2.3. La morale de l'intelligence artificielle**

Le développement des sciences et des techniques a de quoi donner le vertige.

Et il est loin d'arriver à sa limite. Le 21 janvier dernier, le Président Macron annonçait qu'une enveloppe de 1,8 milliards d'euros sur 5 ans serait réservée au quantique, un secteur qui devrait révolutionner l'informatique. L'ordinateur quantique sera une machine 100 millions de fois plus rapide que les ordinateurs actuels les plus puissants, ce qui révolutionnera les pratiques de recherche, de développement et de production. Les ordinateurs actuels reposent sur des micro-processeurs capables d'effectuer des milliards d'opérations par seconde à l'aide du langage binaire : mais la course à la performance se heurte aux limites de la miniaturisation. Alors que l'ordinateur quantique utilise la physique quantique en exploitant notamment la particularité qui veut qu'un atome peut être à différents endroits en même temps : les calculs peuvent ainsi se faire en parallèle, être superposés, ce qui multiplie la puissance de calcul de l'ordinateur... Le lecteur comprendra que j'apprécie n'être qu'un regardeur furtif !

La crainte est de voir science et technique dépasser l'homme au point de prendre le pas sur lui. L'homme perdrait la maîtrise. La machine deviendrait autonome, se développerait par elle-même et supplanterait l'homme en devenant plus intelligente que lui. Il y a débat dans le monde scientifique sur les options à prendre : les uns mettant en garde sur le péril qui menace l'humanité – la singularité technologique – par lequel le statut de l'homme dans la nature sera bouleversé ; les autres considèrent que la loi de Moore – les scientifiques la connaissent bien – ne se poursuit pas indéfiniment au point de traduire dans le registre technologique, la loi universelle de l'évolution conduisant du néant primitif à l'épanouissement de la spiritualité universelle. Ils prennent distance face à l'affirmation selon laquelle l'esprit humain s'affranchirait de son enveloppe charnelle et cérébrale et se téléchargerait « *sur une machine pour devenir souffle pur et simple 'pneuma'* » [6].

Est-il possible de trancher ? La machine restera-t-elle toujours en arrière de l'être humain ? L'intelligence artificielle ne va-t-elle pas donner à la machine une connaissance de son état et déclencher en conséquence des réactions adaptées ? Ce qui constituerait une forme spécifique de conscience pour la machine ?

En est-on si loin ? « *L'apprentissage automatique dote les machines d'une capacité à construire d'elles-mêmes des connaissances et à les utiliser pour se reconfigurer en réécrivant leurs propres programmes* » [6]. Les comportements des ordinateurs deviennent ainsi de plus en plus difficiles à anticiper. En outre, sur base des techniques d'apprentissages qui les rendent autonomes techniquement, les machines sont maintenant capables de rédiger des articles clairs et argumentés. En septembre dernier, « *The Guardian* » publiait une chronique écrite par un robot : « *Je ne veux pas détruire l'humanité* ».

Jean-Gabriel Ganascia rappelle que les résultats des machines tiennent essentiellement aux algorithmes d'apprentissage supervisé, ce qui suppose qu'un professeur instruit la machine en indiquant pour chaque instance, sa classe ou sa catégorie. Les machines « *restent ainsi soumises aux catégories et aux finalités imposées par ceux qui auront annoté les exemples utilisés durant la phase d'apprentissage* » [6]. Les machines ne sont davantage pas capables d'invention dans la mesure où elles « *ne modifient pas d'elles-mêmes le langage dans lequel s'expriment les observations qui alimentent leurs mécanismes d'apprentissage et les connaissances qu'elles construisent* » [6]. L'auteur de conclure que dans l'état actuel des avancées technologiques, rien ne permet d'affirmer que les ordinateurs pourraient se passer des hommes pour se développer, ni qu'ils puissent les dépasser et acquérir leur autonomie.

Jusqu'à preuve du contraire ! Mais serait-ce si grave ?

Je passe en revue rapidement les questions soulevées par ce qui vient d'être présenté.

***Tout d'abord***, l'homme bionique. Quelle merveille ! L'exemple du bras bionique est une prouesse qui permet à une personne de redevenir elle-même en retrouvant les chemins d'expression d'elle-même. La personne est un dedans qui a besoin d'un dehors disait Mounier. Et même si la nature de l'homme dépasse l'accidentel liés aux aléas de la vie, le corps reste le lieu et le moment de l'être que je suis. Il est pleinement éthique de développer la technique à son service.

De même, il s'avère que l'homme est loin d'utiliser toutes les potentialités de son cerveau. Si une modalité de l'intelligence artificielle – la fameuse puce dont parlent certains – permettait d'élargir l'utilisation du cerveau humain, ce serait une belle opportunité, à la réserve près de canaliser les aspirations de Prométhée. Je suis favorable à toute technologie qui reste au service de l'homme dans le respect de son identité profonde et avec la finalité de mener celle-ci jusqu'où elle peut aller. Épanouir l'homme reste une priorité éthique dès lors qu'il s'agit de le faire être selon sa

nature. Tant mieux si l'intelligence artificielle y participe dans les limites largement explicitées en bioéthique. Le corps de l'homme ne doit jamais devenir un prétexte à des expérimentations pour des fins qui ne seraient pas nobles et dont les horreurs liées aux années 40 résonnent toujours dans de nombreuses mémoires.

*Ensuite*, les fabuleuses performances de la machine. Toujours plus et pleinement acceptées de mon point de vue, si elles restent au service de l'homme. Et si, dans les conditions qui viennent d'être rappelées, la réalité dépassait la fiction – la révolution quantique est à nos portes – et que le monde des machines devenait une sphère autonome, l'homme devrait se situer par rapport à ce qu'il aurait participé à mettre en place. Et ce ne serait pas la première fois dans son histoire qu'il serait confronté à des forces qui le dépassent. Les forces de la nature en sont un bel exemple.

Reste que le questionnement éthique doit rester vigoureux dans la manière d'enseigner les machines. Les algorithmes reflètent les heurs et les malheurs de nos sociétés, les bonnes intentions comme les plus perverses. Les algorithmes sont porteurs des idéologies de ceux qui les alimentent. Ainsi, les machines peuvent être racistes, homophobes, sélectionner des personnes blanches ou de sexe masculin ou prôner des idéologies extrêmes. Pour rappel, les machines peuvent recruter, ou écrire des articles d'opinion sur base des contenus que les concepteurs leur font apprendre !

Il importe de rester très vigilants. Des Comités d'éthique doivent cadrer et recadrer. La course à la performance ne doit pas occulter les dérives. Le récent licenciement de Timnit Gebru par Google pose question. Il ne s'agit pas seulement d'alimenter la machine de données en quantité tous azimuts, il faut dans le même temps veiller à leur qualité. Qu'un(e) chercheur(se) fasse correctement son travail et signale les faiblesses d'une pratique – l'article qui ne cadrerait pas avec les critères de sélection établis par Google et faisait donc problème présentait une histoire des programmes automatique du langage naturel, un résumé des quatre principales faiblesses des grands modèles statistiques des langages ainsi que des pistes pour des travaux de recherches complémentaires – rappelle un cadre éthique et se fasse licencier... n'est pas éthique. Toute œuvre humaine se construit et progresse avec un mélange de combustible noble et de combustible ignoble. L'humain a toujours à se frayer un chemin dans la séparation entre l'ivraie et le bon grain. Des choses commencent à bouger timidement, puisque, suite au licenciement de Timnit Gebru, des employés de Google viennent de publier une lettre ouverte pour protester contre le licenciement de leur collègue en réclamant trois choses à leur Direction : une explication sur la censure de la publication de leur collègue ; plus de transparence vis-à-vis du grand public ; un engagement ferme de la Direction pour plus d'intégrité dans la recherche et plus de liberté académique afin que les principes de la philosophie de recherche chez Google ainsi que ceux de Google pour ce qui concerne les intelligences artificielles, soient respectés.

Cette lettre ouverte a été signée par 1604 employés sur un total de 100.000 que compte l'entreprise Google. C'est un petit pas, mais qui a le mérite d'exister. Il traduit la prise de conscience et la volonté qui lui est associée de s'opposer à toute forme de censure sur la recherche de l'éthique des algorithmes.

*Enfin*, la morale de la machine.

L'intelligence artificielle peut être considérée comme un super logiciel qui a appris à apprendre en vue de résoudre des tâches complexes à la place des humains.

Laura Wojcik [7], journaliste au Monde, se demande pourquoi l'intelligence artificielle a besoin d'éthique. Elle liste des situations montrant l'urgence d'un tel besoin.

Les cas où l'intelligence artificielle raisonne de manière trop simpliste et fonctionne de manière imprécise.

Les voitures autonomes doivent décrypter et analyser ce qui se passe sur l'autoroute. La réalité y est complexe et pleine d'imprévus. Des expériences ont montré que la machine était en difficulté pour repérer des stickers collés sur un panneau « Stop » et ne pas le confondre avec un panneau de limitation de la vitesse à 50 km/h. Qu'en sera-t-il quand ces voitures devront gérer des piétons imprévisibles, des cyclistes peu identifiables ou des dilemmes moraux épineux comme éviter un mur mais faucher des piétons sur le côté de la route, ou foncer sur le mur, épargner les piétons mais mettre en péril les occupants de la voiture ?

D'autres problèmes se posent quand l'intelligence artificielle apprend vite et obéit. En 2017, des chercheurs de l'Université de Stanford ont affirmé avoir appris à une intelligence artificielle à déchiffrer l'orientation sexuelle de personnes, et ce juste en scannant les traits de leur visage à partir de photos. Cela a provoqué beaucoup de remous, au point que les chercheurs ont indiqué que leur travail était une provocation pour montrer que la technologie allait beaucoup trop loin. Autre exemple angoissant : Tay, un robot intelligent de discussion de Microsoft a dû être désactivé en catastrophe. L'intelligence artificielle était censée devenir humaine en discutant avec d'autres internautes, mais certains lui ont montré comment détester l'humanité et même devenir nazi.

Ainsi, c'est au cœur même du fonctionnement de l'intelligence artificielle que se posent certaines limites éthiques : l'intelligence artificielle est aussi intelligente que les données qu'elle dévore pour réfléchir. Si la base de données de départ est biaisée et discriminante, le résultat donné par la machine sera biaisé et discriminant. Le fait que le logiciel fonctionne de manière opaque ne facilite pas les choses.

Laura Wojcik propose trois pistes pour réinjecter un peu de morale dans l'intelligence artificielle. *Tout d'abord*, en finir avec les boîtes noires des machines et créer des technologies qui soient lisibles et traçables en vue de démêler les bugs ou les résultats discriminants. Une science existe déjà pour déconstruire les raisonnements de la machine : il s'agit de la rétro-ingénierie. *Ensuite*, impliquer des sociologues, des anthropologues et des philosophes sur des projets scientifiques, mais aussi former ingénieurs et mathématiciens aux questions éthiques directement à l'université. C'est le cas depuis 2014 à l'Université de Stanford : « Initier nos étudiants aux questionnements sur l'éthique, les amener à questionner les fondements de leurs prises de décisions et de leurs actions avant qu'ils doivent être dans cette position en situation réelle où ils auront à prendre ces décisions en temps réel et peut-être sans le recul intellectuel dont ils pourraient bénéficier en classe, c'est ça notre ambition » (John Hennessy, Ancien Président de l'Université de Stanford). Plus récemment, en mars 2019, l'Université de Stanford a ouvert un centre de recherche dédié à l'intelligence artificielle humaine. Cela va dans le même sens que des dizaines d'autres initiatives d'autres Universités ou d'entreprises. *Enfin*, plancher sur le cadre légal pour encadrer les pratiques à l'échelle d'une entreprise, d'un pays ou d'un continent. Un panel de 52 experts travaillent actuellement à la Commission européenne sur un « Guide d'éthique en intelligence artificielle ». L'ambition est de faire des acteurs européens, des leaders en intelligence artificielle éthique et transparente.

### **3. Conclusion : Vers plus d'intelligence**

L'humain n'en est pas encore à vouloir spontanément le bien. Du moins pas tous les humains et pas tout le temps.

L'humain est en marche depuis longtemps, dans une histoire toujours fluctuante, toujours en train de se réinventer, de se refaire. Avec la volonté jamais éteinte de raconter ses grands fondements.

L'humain vit un moment historique : d'un côté et pour la première fois, l'humain se rend compte qu'il est allé trop loin. Il se rend compte qu'il a transformé la planète en sa scène, qu'il a supprimé des espèces, qu'il a transformé le paysage, qu'il est en train de modifier le climat. Cette conscience est totalement neuve. D'un autre côté, l'humain est appelé à prendre ses responsabilités et il dispose de moyens formidables au service de ses choix. L'intelligence artificielle en est un prodigieux. Il doit donc agir vite et bien. Il doit aller de l'avant.

Face aux enjeux, je suis pessimiste à la façon de Kant sur le destin de l'humain. L'humanité ne progresse qu'à travers des catastrophes. C'est le mal qui est le moteur du progrès et non la volonté de faire le bien. Dans sa « Philosophie politique », Kant explique que c'est parce que les guerres vont devenir mondiales, qu'il faudra un jour

créer une Société des Nations qui puisse tenter de régir les conflits. L'humain progresse pour éviter le pire, après qu'une catastrophe soit advenue.

C'est ce que Camus appelle « la ruse de la raison ».

Ainsi les catastrophes liées à la pandémie de la Covid, celles liées au climat vont sans doute nous apprendre des choses sur nous et nous faire réagir.

Je ne doute pas que les biais pris par l'intelligence artificielle vont nous pousser à négocier les tournants nécessaires pour garder le cap de notre histoire humaine qui ne peut devenir que toujours plus humaine.

Dr Phil. Roland URBAIN  
Enseignant d'HENALLUX-Pierrard

#### 4. Sources

Nous nous sommes inspirés en tout ou en partie des propos développés dans les références suivantes :

- [1] ONFRAY, M., *Antimanuel de Philosophie*, Rosny, Bréal, 2001, p.96.
- [2] PIXEES SCIENCEPARTICIPATIVE, (mis en ligne le 6 avril 2020), *C'est quoi l'intelligence artificielle ? Découvrir #1*.  
Adresse URL : <https://www.youtube.com/watch?v=yQLmgw3rCIM>
- [3] FRANCEINFO, (mis en ligne le 23 décembre 2020), *Le 20h de France 2 : journal télévisé du 23 décembre 2020 en replay*.  
Adresse URL : [https://www.francetvinfo.fr/replay-jt/france-2/20-heures/jt-de-20h-du-mercredi-23-decembre-2020\\_4205083.html](https://www.francetvinfo.fr/replay-jt/france-2/20-heures/jt-de-20h-du-mercredi-23-decembre-2020_4205083.html)
- [4] GEERTS, T., *Homo digitalis*, Bruxelles, Racine, 2021.
- [5] TAMIGNIAU, M., (mis en ligne le 26 février 2021), *Comment la digitalisation va changer le monde: "L'école est devenue un concept artificiel" – RTL Info*.  
Adresse URL : <https://www.rtl.be/info/belgique/societe/comment-la-digitalisation-va-changer-le-monde-l-ecole-est-devenue-un-concept-artificiel--1282366.aspx>
- [6] GANASCIA, J.-G., *Le mythe de la singularité : Faut-il craindre l'intelligence artificielle ?*, Paris, Seuil, 2017, pp. 40, 62-63, 67, 69.

- [7] WOJCIK, L., *Paris streets – Laura Wojcik, journalist and photojournalist based in Paris.*  
Adresse URL: <https://www.laura-wojcik.com>
- [8] FRANCE TELEVISIONS, (mis en ligne le 17 février 2021), *La Grande Librairie – Eric-Emmanuel Schmitt, Hédi Kaddour, Jennifer Richard et Eugène Ebodé en streaming – Replay France 5 | France tv.*  
Adresse URL : <https://www.france.tv/france-5/la-grande-librairie/la-grande-librairie-saison-13/2254567-emission-du-mercredi-17-fevrier-2021.html>

# TABLE DES MATIERES

<b>Éditorial : (I)<sup>2</sup>A : L'ingénieur et l'IA,</b> <i>par R. URBAIN</i>	
<b>Étude du traitement par filtration du volume résiduel de polyol lors d'un changement de campagne de production,</b> <i>par C. DE LUCA, P. DASCOTTE</i>	1
<b>Conception et réalisation d'un dispositif d'échantillonnage d'air à l'aide d'un drone,</b> <i>par A. VANDEKERKOVE</i>	7
<b>Étude comparative entre la mise en œuvre de systèmes Low Tech et High Tech en rénovation,</b> <i>par A. BALANT, P. HENRIET</i>	13
<b>Waste Incinerator Modelling in VALI 5</b> <i>par A. DOSSOGNE, S. BELBOOM, C. CHARLIER</i>	19
<b>Suivi de la dégradation d'huiles végétales de friture, contenant différents taux d'acide oléique, au cours de bain de cuisson,</b> <i>par A. JANSENNE, V. JERKOVIC, C. SAUSSEZ</i>	25
<b>Simulation et contrôle de la température d'un hall industriel,</b> <i>par T. DELAITE, C. PHILIPPE, V. HANUS</i>	31
<b>Améliorations d'un équipement de mesure fine et directe par radiotraceurs de consommation d'huile de moteur à combustion interne,</b> <i>par M. ABDESSATER, M. POCHE</i>	37
<b><u>LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES</u></b>	43
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

66



# **Etude du traitement par filtration du volume résiduel de polyol lors d'un changement de campagne de production**

Ing. C. DE LUCA – Ir Ph. DASCOTTE  
Ecole d'Ingénieurs - HELHa Mons

En tant que branche du groupe Dow, le site de Dow Polyol à Tertre a décidé d'optimiser l'une des étapes unitaires de post-traitement intervenant dans le procédé de production de polyuréthane. Etape qui consiste en une filtration ayant comme but d'assurer l'élimination du sel formé pendant l'étape de neutralisation associé à l'adjuvant de filtration, et ainsi mener à l'obtention d'un filtrat épuré, constitué de polyol polyéther.

La ligne de production étudiée est dotée d'un filtre principal de type filtre à bougies. Cet appareil est constitué d'une cuve cylindrique verticale où des éléments filtrants en forme de tubes sont fixés à une platine support supérieure. Ces derniers, appelés chandelles ou bougies, sont des tubes métalliques perforés recouverts par des manchons en tissu synthétique de tissage calibré en fonction du liquide à filtrer, appelés chaussettes. Une pompe placée en amont du filtre assure la mise en œuvre d'un gradient de pression, qui permet de forcer le filtrat à traverser le média filtrant. En revanche, cette pompe ne peut fournir une pression permettant la filtration que lorsqu'elle reçoit du liquide. C'est pourquoi lorsque la quantité de suspension à filtrer devient trop faible, la pression en sortie de pompe chute considérablement et la filtration s'arrête. Il reste donc, dans les tuyauteries et dans le fond du filtre, une quantité de charge contenant encore les poudres à éliminer. Ce mélange sera appelé : volume résiduel.

Il existe deux chemins possibles pour ce volume résiduel. Le traitement ultérieur dépend de la question de savoir s'il y a un changement de campagne de production ou pas. Comme le montre la Figure 1, dans le cas où on continuerait à produire le même grade de polyol sur la ligne, le volume résiduel est renvoyé vers une cuve appelée cuve de précouche. Il y sera utilisé en tant que diluant lors de l'ajout de l'agent de neutralisation et de l'adjuvant de filtration du prochain lot. D'autre part, si le produit suivant n'est pas du même grade que celui dont le volume résiduel est à considérer, il convient alors de le traiter. Cela permet ainsi d'éviter que ce volume pollue la production suivante et impacte sa qualité.

Aujourd'hui, ce volume résiduel est traité par un programme spécial de filtration sur le filtre à bougies. Toutefois, celui-ci possède plusieurs désavantages. Citons le simple fait qu'il mène à une mise en fûts avec manipulation par les opérateurs du produit à 90°C. Cette procédure constitue donc un risque considérable d'accident grave. Ajoutons encore que ce programme consomme énormément d'azote afin de maintenir la pression de filtration, ce qui représente une dépense économique élevée et ce d'autant plus qu'il nécessite du temps. C'est pourquoi l'équipe de projet s'est tournée vers l'utilisation d'un petit filtre à plaques auxiliaire pour filtrer le **volume résiduel**. Cet appareillage remplacerait donc l'emploi du filtre à bougies lors du traitement du volume résiduel quand il y a changement de campagne de production.

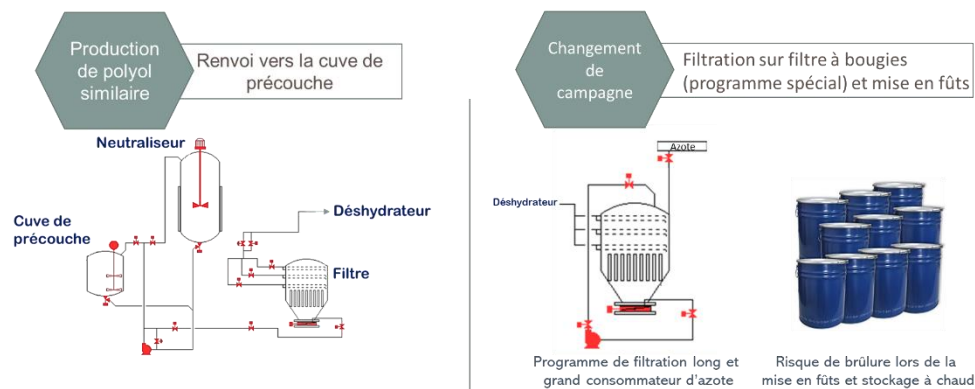
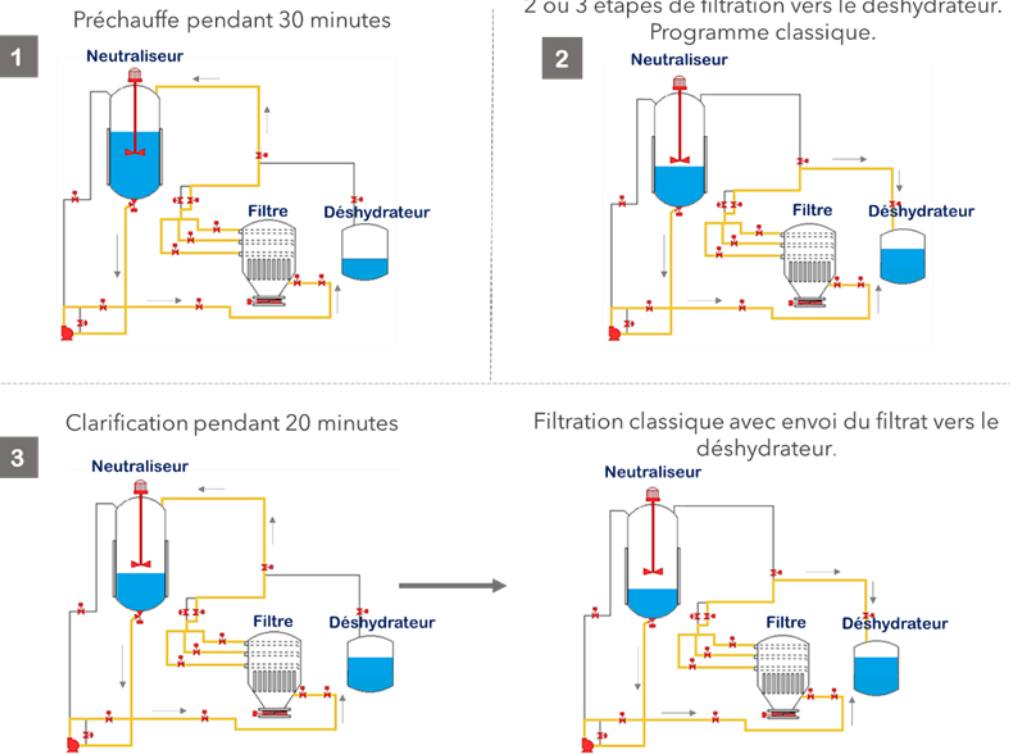


Figure 1 : Destination du volume résiduel en fonction de la production

Ce travail s'est concentré sur l'étude de la ligne II, qui est de nos jours celle qui rencontre le plus souvent un volume résiduel à traiter. Dès le départ, il a été mis en évidence que traiter directement le volume résiduel obtenu actuellement à la ligne II sur le petit filtre à plaques auxiliaire est impossible. En effet, des calculs de quantité de gâteaux théoriques ont démontré que pour tous les grades de polyol, la capacité de ce petit filtre serait dépassée. Il a donc été retenu la nécessité de modifier le programme de filtration du filtre à bougies **avant** obtention du volume résiduel dans le but de concilier la quantité de gâteau avec la capacité du petit filtre.

### Filtration sur filtre à bougies : Avant obtention du volume résiduel



### Filtration sur petit filtre à plaques : traitement du volume résiduel

Filtration du volume résiduel sur petit filtre à plaques

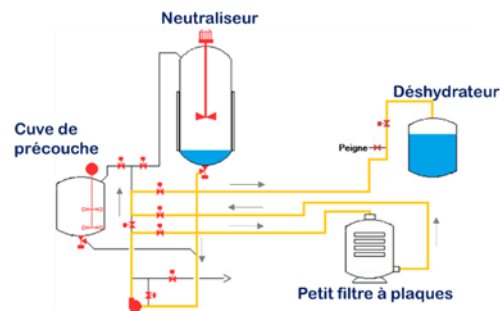


Figure 2 : Nouveau protocole de traitement par filtration d'un lot en fin de campagne de production

La modification ultime (Figure 2) du programme de filtration sur filtre à bougies à la ligne II a abouti à un traitement en 5 étapes sur ce filtre. Ensuite le volume résiduel est filtré sur le petit filtre à plaques. Lors des essais, il a été mis en évidence que le nouveau programme sur le filtre à bougies devait tenir compte de la nécessité d'une préchauffe de manière à éviter un colmatage des chaussettes en atteignant une température correcte au niveau de l'appareillage dès la première étape de filtration. De plus, comme expliqué ci-avant, il était absolument nécessaire de diminuer la quantité de gâteau récoltée sur le petit filtre. C'est pourquoi une étape de clarification ayant comme but de diminuer la concentration en solides du volume résiduel à filtrer sur le petit filtre à plaques a également été mise en place.

Les tests menés ont mis en évidence qu'adopter ce nouveau protocole permet le traitement d'un lot par filtration sur le filtre à bougies et la filtration du volume résiduel par le petit filtre sans dépasser sa capacité. En ce qui concerne les temps totaux nécessaires au traitement par filtration suivant le programme imposé par ce projet, ceux-ci sont toujours inférieurs à la durée maximale des protocoles actuels. L'objectif poursuivi est donc totalement atteint : l'usage des petits filtres pour le traitement du volume résiduel peut désormais être implémenté, sans allongement substantiel de la durée totale du cycle de production. De plus, la consommation en azote est nettement moindre, ce qui permettra à l'entreprise de s'épargner des dépenses économiques importantes.





# Conception et réalisation d'un dispositif d'échantillonnage d'air à l'aide d'un drone

Ing. A. VANDEKERKOVE  
PIERRARD – Virton

## 1. Introduction

L'objectif de ce travail est de construire un prototype d'instrument de monitoring de la qualité de l'air effectuant des échantillonnages d'air au-dessus du sol. Ce prototype est construit pour le compte de l'équipe Sensing of Atmospheres and Monitoring (SAM) de l'Université de Liège - Campus Arlon.

Il y a quelques contraintes de travail qui doivent être prises en compte :

- Le dispositif est destiné à être embarqué sur un drone, il ne doit donc pas être gourmand en puissance, ne pas dépasser trois kilogrammes et être pilotable à distance (déclencher et arrêter le sampling).
- Il doit être capable de réaliser des échantillons de 5 litres minimum à pression proche de la pression atmosphérique (quelques millibars).
- Le dispositif doit fournir à la fin un échantillon pouvant être directement utilisé dans un processus d'analyse chimique pour déterminer sa composition.
- Le dispositif ne doit pas contaminer l'échantillon.
- Le dispositif ne doit pas dépasser la somme de mille euros.

## 2. Prototype d'échantillonnage

### 2.1. Contexte

Afin de mener à bien ce projet, l'équipe SAM a fait l'acquisition d'un drone DJI S1000 ayant une masse de 8,2 kg. Ceci inclut le drone, l'électronique embarquée, la batterie et les modifications déjà apportées. C'est ce drone qui embarquera le dispositif évoqué précédemment.

## 2.2. Solution étudiée

La solution étudiée pour ce projet consiste en un système d'aspiration directe, c'est-à-dire que l'on remplit directement des sacs en faisant passer l'air par un compresseur. Dans ce cas-ci, il y a une sortie vers deux sacs d'échantillonnage afin de faciliter l'implémentation sur le drone. Étant donné le remous d'air généré par le drone, il est important d'effectuer l'échantillonnage en dehors de la zone d'influence de celui-ci. Pour ce faire, une tige d'échantillonnage est ajoutée au drone afin de prélever l'air à une distance suffisante du drone.

## 2.3. Autonomie

L'autonomie d'un drone est un élément critique. Afin de dimensionner au mieux le prototype, il convient de modéliser l'autonomie de manière expérimentale ou à l'aide d'un logiciel afin d'évaluer l'influence de sa propre masse sur le drone.

Faute de pouvoir effectuer des tests d'autonomie, le logiciel E-Calc a été utilisé afin de modéliser l'autonomie du drone.

## 2.4. Instrument d'échantillonnage

Le design du circuit aéraulique du prototype est choisi en fonction des besoins du prototype. De cette manière, on obtient le design ci-dessous :

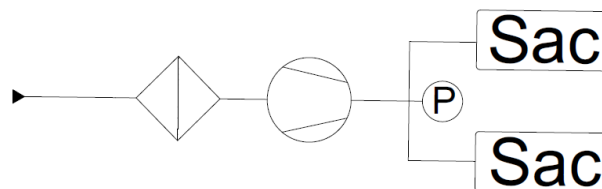


Figure 1 – Schéma de principe du circuit aéraulique

Le filtre permet d'empêcher de grosses particules de s'introduire dans le compresseur. Le compresseur permet le remplissage des sacs. Un capteur de pression différentielle est relié à la sortie du compresseur afin d'arrêter celui-ci une fois que les sacs sont remplis (c'est-à-dire, lorsque la pression interne des sacs est strictement supérieure à la pression atmosphérique).

La première étape du dimensionnement a été de calculer l'ensemble des pertes de charge dans le circuit. Ces calculs ont mené au tableau 1.

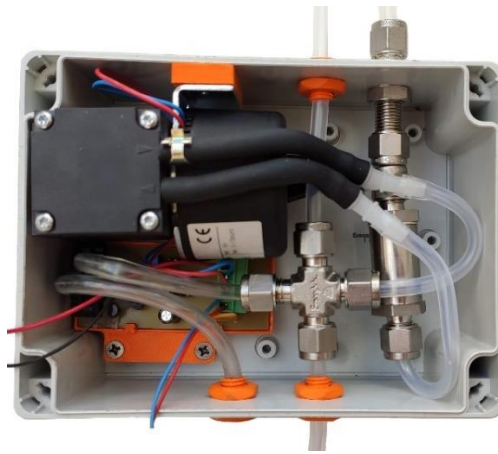
<b>Pertes de charge</b>	<b>Symbole</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeur</b>
Régulières	$\Delta p_c$	<i>mbar</i>	8,54
Aspiration	$\Delta p_{in}$	<i>mbar</i>	0,19
Raccord en T	$\Delta p_T$	<i>mbar</i>	0,97
Filtre	$\Delta p_{filtre}$	<i>mbar</i>	18,55
Gonflement du sac	$\Delta p_{sac}$	<i>mbar</i>	4,20
<b>Total</b>	$\Delta p_{tot}$	<i>mbar</i>	32,45

*Tableau 1 – Calcul des pertes de charge*

Une série de compresseurs a été choisie et, à l'aide du logiciel E-Calc, celui nécessitant le moins d'énergie pour récolter un litre d'échantillon a été choisi.

C'est finalement le compresseur **KNF NMP 850.1.2 KTDC-B**, qui a été choisi. Une fois tous les éléments du circuit aéraulique dimensionnés et commandés, ceux-ci peuvent être assemblés dans le boîtier prévu à cet effet.

Après assemblage, il en résulte la figure ci-dessous :



*Figure 2 – Vue supérieure de l'instrument assemblé*

La mise en marche et l'arrêt du compresseur sont contrôlés par un microcontrôleur. Celui-ci a deux fonctions :

1. Recevoir le signal PWM<sup>1</sup> venant de l'Autopilote et renvoyer un signal PWM au compresseur
2. Interrompre le fonctionnement du compresseur une fois que la pression différentielle entre le milieu extérieur et l'intérieur des sacs devient trop importante.

<sup>1</sup> Pulse-Width Modulation ou Modulation de Largeur d'Impulsion en français

## 2.5. Système d'aspiration et d'accroche des sacs

Le prototype étant réalisé, la dernière étape de la conception est de fixer les sacs d'échantillonnage au drone, ainsi que la tige permettant de prélever l'échantillon à distance.

Un dispositif composé de deux supports (1), de la tige d'échantillonnage (2), de deux arceaux de sécurisation (3) et de deux crochets de fixation (4) a été conçu à ces fins (voir figure 3).

Le support permet de solidariser le dispositif au drone, mais également de maintenir la tige d'échantillonnage et le crochet de fixation des sacs.

La tige d'échantillonnage, comme déjà expliqué précédemment, permet de récupérer l'air en dehors de la zone de turbulence générée par le drone, mais également de supporter l'arc de sécurisation des sacs. Cette tige permet d'effectuer le prélèvement à près de 70 cm de l'extrémité des hélices du drone, ce qui permet normalement d'échapper aux turbulences du drone.

Les arceaux de sécurisation ont pour objectif d'empêcher les sacs de déséquilibrer le drone, mais également d'empêcher les sacs d'entrer en collision avec les hélices ou autres parties critiques au vol.

Les crochets servent à maintenir les sacs au niveau du raccord les reliant à l'instrument. Deux types de crochets ainsi que des rallonges ont été conçus afin de s'adapter à la plus grande diversité de sacs possible.

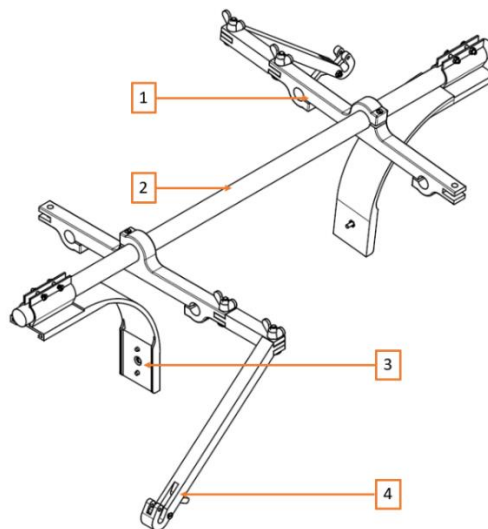


Figure 3 – Implémentation finale du prototype sur le drone

Le prototype est finalement installé sur le drone. Le résultat de l'implémentation est visible à la figure 4.



*Figure 4 – Implémentation finale sur le drone*

Le prototype, dans sa configuration maximum, c'est-à-dire en embarquant deux sacs de 10 l, pèse 1,539 kg soit 51,3% du poids limite fixée par le cahier des charges.

D'un point de vue financier, le cahier des charges est également respecté avec un coût total du prototype de 586,21 €, soit 58,6% du budget prévu.

### **3. Conclusion**

Le développement du prototype a été poussé le plus loin possible, compte tenu de la situation en Belgique en 2020 (Covid-19).

L'étape suivante du développement du prototype est d'entrer dans une phase de test afin d'améliorer le prototype. Divers réglages, tant mécaniques que logiciels (PID) devront être réalisés sur le drone.

La phase de test permettra également de vérifier la véracité de certaines hypothèses posées lors de la conception, comme par exemple, la longueur de la tige d'échantillonnage, la commandabilité à distance ou encore la capacité du prototype d'effectuer sa mission sans contaminer l'échantillon.



# Étude comparative entre la mise en œuvre de systèmes Low Tech et High Tech en rénovation

Ing. A. BALANT – Ir P. HENRIET

ECAM – Bruxelles

## 1. Low Tech, moins rénover pour moins consommer ?

Cet abstract aborde le projet rénovation d'un bâtiment. Chaque secteur cherche des solutions qui lui permettraient de diminuer ses impacts environnementaux. Cependant, chaque innovation, tout aussi positive soit-elle pour le climat, peut engendrer à posteriori un impact négatif sur un autre défi déjà difficile à relever. En effet, par exemple, placer un système de ventilation dans un immeuble de bureau permet d'accroître le confort des occupants avec un renouvellement d'air suffisant, cela améliore leur bien-être et leur productivité, quoi de plus positif, mais qu'en est-il de l'énergie nécessaire pour produire un tel dispositif ou du recyclage de ses composantes en fin de vie ?

Pour pallier à cette problématique, une solution est l'approche Low Tech dans la construction. Il s'agit de revenir à une utilisation plus raisonnable des énergies fossiles en choisissant un mode de vie tout aussi confortable que durable.

Dans ce travail, le but est de comparer le Low Tech et l'High Tech pour analyser leurs impacts. La frontière entre ces deux technologies n'est pas facilement distinguable. Le point suivant permettra d'éclaircir les objectifs de ce travail ainsi que les différences entre les technologies comparées tout au long de ce travail.

## 2. Le projet

Afin de réaliser cette étude comparative, un projet de rénovation de bureau est étudié tout au long de ce travail. Le bureau se situe au 2<sup>e</sup> étage d'un bâtiment qui en comporte 5 au total. En ce qui concerne les dimensions géométriques du bureau étudié, il s'étend sur une superficie de 307 m<sup>2</sup>. Le bâtiment situé sur la place de l'Université à Louvain-la-Neuve a été construit dans les années 1970 et aucune rénovation majeure n'a été réalisée depuis.

Ce travail comporte plusieurs limites. Les différents niveaux de rénovation qui sont présentés dans ce travail ne sont pas exhaustifs.

### **3. Les différents niveaux de rénovation étudiés**

#### **3.1. No Tech**

Le No Tech est défini comme l'état actuel du projet. Cette technologie jouera le rôle de référence par rapport à laquelle les deux autres technologies seront comparées. Il ne s'agit donc pas d'une technologie de rénovation comme le sont les technologies Low Tech et High Tech, mais bien une image du projet où il se trouve aujourd'hui.

Le No Tech représente la situation actuelle au sein du bureau. Les luminaires actuels ne permettent pas d'atteindre les recommandations faites par la norme NBN EN 12464-1. En ce qui concerne la ventilation, aucun système de ventilation n'est prévu. Cependant, l'inétanchéité des châssis permet un renouvellement de l'air acceptable estimé à 32m<sup>3</sup>/h/personne.

Actuellement, aucune isolation n'est présente, le coefficient de transmission thermique est estimé à 1,98 W/m<sup>2</sup>K.

#### **3.2. Low Tech**

Les technologies Low Tech sont les systèmes qui permettent de respecter strictement les normes en vigueur actuellement sans chercher à les dépasser. Il s'agit des techniques de base couramment utilisées.

En ce qui concerne l'éclairage, ce dernier a été complètement revu au moyen de luminaires LED. Une modulation de l'éclairage est préconisée avec la présence de 3 détecteurs.

Le système de ventilation étudié est un système C, une ventilation simple flux qui permet de respecter les normes d'aération via un apport d'air neuf à travers des grilles installées dans les châssis et une extraction centralisée.

Pour respecter les critères légaux, une isolation par l'intérieur est mise en place et les châssis sont remplacés.

#### **3.3. High Tech**

Les technologies High Tech sont les technologies avancées qui permettent de dépasser les recommandations en vigueur. L'objectif de ces technologies évoluées est d'atteindre une réduction de la consommation énergétique supplémentaire par rapport au Low Tech.

En ce qui concerne l'éclairage, par rapport à la technologie Low Tech, la seule variation sera l'ajout de détecteurs supplémentaires. Placer 8 détecteurs permet de

munir le bureau d'une modulation d'éclairage avec une fonction de détection d'absence et de présence.

Le système de ventilation choisi pour cette technologie est le double flux. Ce système est muni d'un récupérateur de chaleur en combinaison d'un bypass pour le maintenir à l'arrêt durant l'été.

La rénovation de l'enveloppe est la même que celle qui a été étudiée dans la technologie Low Tech.

#### **4. Conclusion**

L'objectif premier de ce travail est de déterminer quelle rénovation, entre une conception de type Low Tech ou l'High Tech, est susceptible de répondre le mieux aux demandes du bureau de l'entreprise MATRIciel. Pour cela, il est indispensable de regarder la rénovation dans son ensemble en analysant, non seulement le gain en consommation fait par la mise en place de nouvelles techniques, mais également leur impact environnemental sur la totalité de leur cycle de vie.

Le choix de la technologie se base sur les critères de la consommation énergétique, du confort, du coût financier et de l'impact environnemental. Cette évaluation a notamment été réalisée à l'aide du logiciel TRNSYS afin d'estimer la consommation énergétique et Elodie pour l'étude de l'impact environnemental intrinsèque des différentes techniques.

En ce qui concerne la technologie Low Tech, une modulation de l'éclairage avec un groupe de trois détecteurs est plus avantageuse qu'avec un seul et ce, quelle que soit la situation.

En termes d'impact environnemental global, les technologies Low Tech et High Tech sont très proches. Ceci s'explique par le fait que l'High Tech possède la consommation énergétique la plus faible.

Du point de vue du confort ressenti pour les occupants, choisir la technologie Low Tech permet d'atteindre un nombre d'heures de surchauffe faible donnant lieu à une qualité d'ambiance intérieure suffisante pratiquement sur la totalité de l'année. Dans le cas de l'High Tech, la surchauffe est plus importante. Choisir de placer une climatisation pénaliserait l'High Tech.

On a également pu remarquer que chaque ajout de techniques augmente graduellement l'impact environnemental. Si une nouvelle technique permet une réduction de la consommation en énergie primaire du projet, cela aura un impact positif sur le

bilan environnemental. Cependant, si elle est uniquement destinée à une amélioration de confort, la contribution aux réchauffements climatiques du bâtiment risque d'être fortement amplifiée.

Le tableau ci-dessous fait office de récapitulatif de chaque technologie étudiée.

	Low Tech	High Tech
Consommation énergétique	Conseillé	Excellent
Confort ressenti	Conseillé	Déconseillé
Coût financier	Moins bon	Déconseillé
Impact environnemental	Excellent	Conseillé

*Tableau 1 : Récapitulatif de l'étude*

Un compromis doit pouvoir être trouvé et dans notre cas, il s'agit de la technologie Low Tech comportant un système simple flux combiné à une ouverture des fenêtres en période estivale et une modulation de l'éclairage permise par la mise en place de 3 détecteurs de présence.

Pour terminer, cette étude montre que lorsqu'on choisit de rénover un bâtiment, il faut se poser les bonnes questions et savoir ce que l'on recherche vraiment. Chaque choix posé a un impact sur la consommation énergétique, mais également sur la rentabilité environnementale du projet. Les technologies les plus avancées permettent une réduction de la consommation énergétique très importante, mais les impacts environnementaux intrinsèques engendrés par les différents matériaux nécessaires sont difficiles à compenser. L'énergie grise est peu mise en avant dans la société d'aujourd'hui, il faut donc avoir un regard critique sur ce qui est présenté. Avoir un confort suffisant dans un bâtiment est indispensable, mais lutter contre le réchauffement climatique l'est également. Pour ce faire, il faut réfléchir aux choix des systèmes et des techniques à mettre en œuvre aussi bien pour une nouvelle construction que pour une rénovation.





# Waste Incinerator Modelling in VALI 5

Ing. A. DOSSOGNE – Dr Ir S. BELBOOM – Ir C. CHARLIER  
HELMo GRAMME – Liège

## 1. Introduction

Given the increasingly stringent emission and energy efficiency standards, it becomes more and more important for industries to increase their mastery of their processes. The improvement of the performance of a process can be achieved by an enhancement of the control as well as a deeper knowledge. The purpose of the project is to provide a first functional model, which can validate and reconcile the data concerning the energy aspect of the power plant.

### 1.1. Uvélia

Uvélia, the plant studied in this work, is an energy recovery unit located in Herstal. The household waste of 1 million inhabitants is used as fuel for the heat production. It represents 370 000 tonnes of waste and 225 GWh of electricity produced per year.

Their process is made of 2 identical furnace/boiler lines which have each a capacity of 21 t/h. The thermal power station is based on an Hirn cycle with 2 extractions of steam, 180 t/h of steam can be generated at 400°C and 40 bar.

### 1.2. Data Validation and Reconciliation

The chemical reactions and physical equations such as the conservation of mass and energy of the phenomena that occur in the process are considered in the model by equations. The variables of these equations are the properties of the flows: in other words, their temperatures, pressures, flow rates and compositions.

Each new flow or equipment implies new variables and equations, on which depends the degree of freedom of the system. Depending on the number of measurement devices, it is probable to have just enough data, then the rest of the properties is determined by simulation, but the ideal case is to have much more data than necessary. In that context, a reconciliation of the data must be considered since no mathematically correct solution can be found because of the measurement errors.

The validation is the step during which the credibility of the values received is checked. The reconciliation determines the most probable values for the properties of the streams by correcting as less as possible the collected data to find a solution where each equation is respected. Adding redundant information or equations therefore increases the reliability of the solution found.

To achieve that reconciliation, the solver tries to find the solution that requires the lightest corrections on measurements. That optimisation problem has as objective function the sum of the individual penalties. A penalty is the difference between the measured value and the corrected value, divided by the uncertainty of the measurement, all squared.

$$Obj = \min\left(\sum_i \text{penalty}(y_i)\right) = \min\left(\sum_i \left(\frac{y_i - y_i^*}{\sigma(y_i)}\right)^2\right)$$

where  $y_i$  is the measured value,  $y_i^*$  is the reconciled value and  $\sigma(y_i)$  is the standard deviation on  $y_i$ .

The main interest is to increase the accuracy and reliability of the key variables and performance indicators to help the decision making for the maintenance.

The software used in this work to apply the DVR method to the energy aspect of the Uvélia plant is called VALI 5 and is developed by Belsim Engineering.

## 2. Modelling

To be able to find easily and quickly the information we are looking for, reorganizing the documentation received is the first step of the modelling. The goal is to make the links between the measurements devices instruments (tags), their type, the flow to which they apply, the documents and diagrams in which they appear, their design value, their operational values, their uncertainty, etc.

The model is composed of three parts: the steam circuit, the combustion lines and the cooling water circuit. To give a small example of modelling steps, the figure 1 is the development for the steam outlets (1 and 1-) of the boilers to the inlet (4) of the turbine.

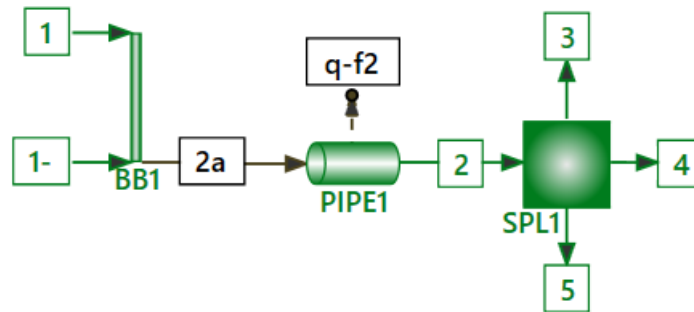


Figure 1: Modelling of the steam outlet of the boiler

The flows 1 and 1- are the streams of high-pressure steam, gathered as 2a, carried through a 30-meter pipe that could represent some losses, and then split into 3 flows, the main one, flow 4, being the turbine inlet. Concerning the first black box (BB1), the mass and energy balances allow to calculate the flow rate, temperature and pressure in the flow 2a if the pressure drop is fixed. The losses must be given in the pipe and the temperatures and pressure are the same in all the N outlets of the splitter, so only the pressure drop and N-1 flow rates have to be given. Any redundant information is welcome, but if wrong values are introduced, the solver might not be able to find a solution.

The most interesting data to enter is the operational data, collected on the plant during the operation. It is also useful to compare the results obtained with this type of data to those of the modelling from the design information, so to the expected performance of the process. It is common that certain data necessary for the calculations are unavailable in the documentation of the plant: it is then necessary to make assumptions or simplifications.

## 2.1. Results Analysis

The first thing that can be checked in the results is the reliability of the solution. It can be estimated from the penalties and the objective function, images of the corrections brought. It is also interesting to compare, at each step, the values of the variables obtained with the operational data to those with design data.

Even with the planned properties, the values have to be corrected. Investigating that problem, a slight mass imbalance in some flows was found, because the values are rounded. But the consistency still allows to find the solution.

Concerning the operational data, the objective function is higher than in design conditions. This shows that, logically, the measured values are less precise than the planned values.

As key performance indicators, as examples, the efficiencies of the 3 turbine stages are presented, as well as the mechanical efficiency: the ratio between the net power and the turbine power. Their values at different times are shown in fig. 2.

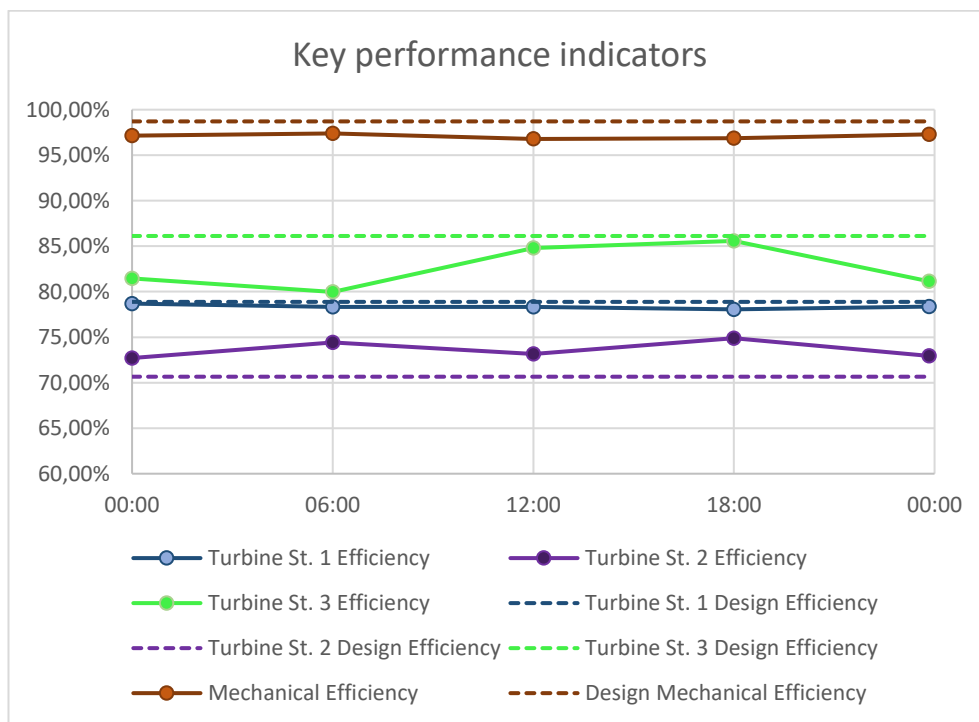


Figure 2: Key performance indicators evolutions

Concerning those examples, the stage two of the turbine is more efficient than expected, unlike the third stage. This can be due to a different use of the turbine (for example, if extraction flow rates are higher or smaller), or it can mean that the measurement devices are diverging and/or that, only for the case of third stage of the turbine, that it is becoming less performing. Checking that potential problem could be considered.

The value of the mechanical efficiency is smaller than with the design data; the parameter which explains that can be found thanks to a sensitivity analysis. This analysis shows that it is due to the high pressure increase in the feed water pumps. The high pressure margin is needed for a control valve, but it could be reduced. According to a simple estimation, up to 6700 €/year could be saved in the most optimistic

case. But since they are multistage pumps without speed variators, the outlet pressure cannot be modified easily. It requires a complete study on the subject to know the impact of a destaging.

### **3. Conclusion**

To conclude, a validation model of the energy aspect of the installation have been done and concrete results have been obtained and analysed. It allowed to verify the general good operation with a satisfying consistency. It also pointed out a reducible energy loss in the steam circuit. However, using more operational data in the model can be a future improvement.

The main problem of that modelling for now is the lack of information. The design and operational data extracted from the documentation of Uvélia made it possible to build the model and it was validated according to some assumptions. Some tags are missing because there is no instrument to record it, because its measurement is not sent to the data history system or because the value was not stored or exported. Solving those issues is a direct way of improvement of the model, since more operational data means less assumptions or more redundancy.

The lack of data was particularly impacting for the waste combustion aspect. However, it is not a lack of documentation provided by Uvélia since they do not have the composition of this matter either. Having the compositions of the waste and ash and their flow rates would allow to model the combustion part more accurately. Some possibilities exist in VALI to model solid fuels and they can be considered. In this version of the model, the waste is replaced by a mix of methane and ethane; modelling this aspect properly is therefore an opportunity for improvement that can be considered.

There are therefore several ways to continue and improve this work. Additionally, the modelling of the electrical aspect can be considered as well as the modelling or analysis of the fumes processing. It is possible to study the impact of some changes in the Uvélia plant, as the decrease of the pressure jump of the feed water pumps or the possibility of adding a reheating of the steam. These can be topics for another master thesis, which would be linked to this one.



# Suivi de la dégradation d'huiles végétales de friture, contenant différents taux d'acide oléique, au cours de bain de cuisson

Ing. A. JANSENNE – Ir. Dr. V. JERKOVIC - Ing C. SAUSSEZ  
Ecole d'Ingénieurs - HELHa Mons

## 1. Introduction

Ce travail a été réalisé dans le cadre du stage et de la rédaction du travail de fin d'étude qui en découle, pour une entreprise spécialisée dans la fabrication et la commercialisation de produits à base de pommes de terre. Une partie de ces produits appartient à la catégorie des produits frits surgelés (frites et croquettes). Leur production nécessite l'utilisation d'huile de tournesol.

Le procédé de friture est une des méthodes de cuisson les plus anciennes et populaires. Elle est basée sur l'interaction entre une huile et les aliments qui y sont plongés à haute température (150 – 190°C). A cette température, le corps gras, en contact avec l'air, les aliments frits et l'eau qu'ils apportent, subit différentes réactions chimiques. Des réactions d'hydrolyse, d'oxydation et de polymérisation des triglycérides du corps gras sont, entre autres, observées. Les réactions d'oxydation et de polymérisation sont généralement rassemblées sous le nom de réactions thermo-oxydatives. Le tableau 1 liste les principales familles de composés d'altération formés lors de ces réactions. Ces composés d'altération sont généralement regroupés sous le nom de composés polaires (TPC). [1] [2]

*Tableau 1 : Principaux composés néoformés dans les corps gras durant le procédé de friture.*

Type de réaction	Facteur responsable	Composés formés
Hydrolyse	Humidité (eau)	Acides gras libres Mono- et Diacylglycérols
Oxydation	Air (oxygène)	Triglycérides oxydés (TG ox) Polymères de TG ox Composés volatils (cétones...)
Polymérisation	Température	Polymères de triglycérides (TG) Monomères cycliques de TG TG <i>trans</i>

L'évaluation de l'état de dégradation d'une huile ou d'une graisse de friture peut, entre autres, être réalisée via le dosage des composés d'altération. En Belgique, la quantité de ces produits tolérée lors d'opérations de friture est précisée par un arrêté royal [3]. Une teneur en acide gras libres supérieure à 2,5 g/100 g (en acidité oléique) et/ou une teneur en TPC supérieure à 25% (p/p) mènent à l'écartement de l'huile. Afin de limiter la libération de ces produits, les fournisseurs recommandent des huiles riches en acides gras monoinsaturés, dont les huiles de tournesol oléiques.

Les triglycérides ne sont pas les seuls composés des corps gras impactés par le procédé de friture. Des composés minoritaires, comme la vitamine E, dans le cas des huiles de tournesol, sont également dégradés. Le nom vitamine E désigne les tocophérols et les tocotriénols, des antioxydants liposolubles. Ils protègent les lipides alimentaires des réactions thermo-oxydatives en captant les radicaux libres et sont nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme humain. Dans les huiles de tournesol, ce sont majoritairement des tocophérols qui sont retrouvés. Leur dégradation lors des opérations de friture peut être suivie via leur activité antioxydante. [4] [5]

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Huiles analysées

Quatre huiles de tournesol, pauvres en acides gras saturés (AGS), ont été comparées : une huile linoléique (traditionnelle), riche en acides gras polyinsaturés (AGPI), une huile oléique (HO), riche en acides gras monoinsaturés (AGMI), et deux mélanges huile linoléique/huile oléique. Ces huiles, dont la composition est présentée dans le tableau 2, ont été fournies par l'entreprise partenaire.

*Tableau 2 : Composition en acides gras (saturés, monoinsaturés et polyinsaturés) des différentes huiles comparées (en %).*

	<u>Huile traditionnelle</u>	<u>Huile oléique</u>	<u>Mélange 1</u>	<u>Mélange 2</u>
AGS	10,93	8,22	10,26	10,07
AGMI	31,12	82,17	38,97	42,58
AGPI	57,64	9,40	50,33	46,94

### 2.2. Protocole de cuisson et d'échantillonnage

Les quatre huiles de tournesol comparées ont été utilisées pour cuire des frites surgelées précuites dans de l'huile de tournesol. Elles ont été placées dans une friteuse (Frifri 5845, 4,5 L) et chauffées à 175°C afin de cuire 450 g de frites durant 4 minutes. À la fin de chaque bain, un échantillon d'huile a été prélevé et l'huile a été chauffée durant 10 minutes. Ce cycle a été répété 17 fois.

### 2.3. Suivi des réactions de dégradation des triglycérides

L'évaluation du pourcentage en TPC a été réalisée sur chaque échantillon, refroidi à 60°C (bain-marie), à l'aide d'Oleotests®. Les acides gras libres ont été dosés en retour sur titrateur automatique [6]. 0,4 g d'huile ont été dissous dans 20 mL de solvant éthanol/butan-1-ol (1/1) et neutralisés par ajout de 10 mL de potasse alcoolique 0,2 M. L'excès a été titré par une solution standardisée d'acide chlorhydrique 0,2 M. Les résultats ont été convertis en g d'acide oléique/100 g d'huile par rapport à un blanc.

### 2.4. Suivi de l'activité antioxydante des tocophérols

L'activité antioxydante des échantillons a été suivie en mesurant l'activité anti-radicalaire à l'aide du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH). 25 µL d'huile ont été dissous dans l'acétate d'éthyle (975 µL) et mélangés à du méthanol (3 mL). 1 mL d'une solution méthanolique de DPPH fraîche (0,012 g/100 mL) a été ajouté. Le mélange a ensuite été homogénéisé et placé 30 minutes à l'obscurité à température ambiante. L'absorbance a été mesurée à 517 nm (blanc : méthanol). Le % *DPPH Scavenging* est ensuite calculé comme suit :

$$\% \text{ DPPH Scavenging} = 100 * \frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}}}{A_{\text{contrôle}}}$$

avec  $A_{\text{contrôle}}$ , l'absorbance lorsque l'huile est remplacée par de l'acétate d'éthyle. Les résultats ont été convertis en µmoles de Trolox®/mL d'huile à l'aide d'une droite d'étalonnage portant le % *DPPH Scavenging* de solutions de Trolox® (1,4 à 2,2 moles/100 mL) en fonction de la concentration en µmoles de Trolox®/g de DPPH.

## 3. Résultats

### 3.1. Suivi des réactions de dégradation des triglycérides

Les quatre huiles étudiées ont subi des réactions d'hydrolyse menant à la libération d'acides gras libres (tab. 3). Les résultats obtenus montrent que, dans les conditions expérimentales, il n'y a pas de lien entre le pourcentage d'acide oléique contenu dans l'huile et l'importance des réactions d'hydrolyse.

Tableau 3 : Augmentation de l'acidité oléique (en g d'acide oléique/100 g d'huile) après 17 bains de cuisson pour les différentes huiles de tournesol étudiées.

Huiles (% AGMI croissants)	Augmentation de l'acidité oléique (%)
Huile traditionnelle	0,66
Mélange 1	0,15
Mélange 2	0,36
Huile oléique	0,26

L'utilisation des Oleotests® a permis d'avoir une idée de l'évolution des composés polaires au cours des cuissons (fig. 1). Après 17 bains, aucune des huiles n'a atteint le taux légal de 25 %. L'huile oléique présente la meilleure résistance et les mélanges un comportement intermédiaire. Il y a peu de différence entre les 2 mélanges, cela étant dû à leur composition proche et au type de valeurs fourni par le test. Les observations permettent de conclure à un lien entre la formation des composés polaires et le taux d'acide oléique. Un haut pourcentage en acide oléique améliore la résistance.

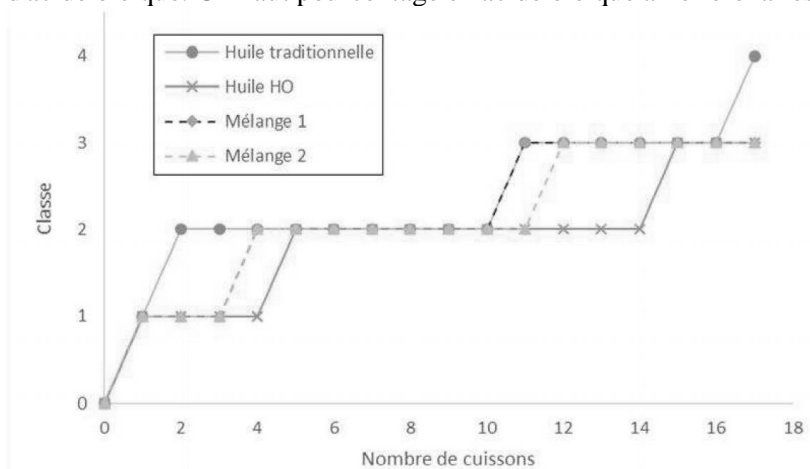


Figure 1 : Résultats des Oleotests pour les différentes huiles comparées : classe de pourcentage en composés polaires (%TPC) en fonction du nombre de cuissons ; Légende des différentes classes : 1 : <5 %, 2 : 6-12 %, 3 : 13-16 %, 4 : 17-23 %.

La comparaison des pourcentages totaux atteints par les huiles et des augmentations d'acidité libre confirme que les réactions thermo-oxydatives sont majoritaires par rapport à l'hydrolyse. Il s'agit donc des réactions de dégradation des triglycérides les plus importantes lors du choix de l'huile.

### 3.2. Suivi de l'activité antioxydante des tocophérols

Le test au DPPH développé a permis de suivre l'activité antioxydante des huiles étudiées au cours des bains de friture (fig. 2). Elle diminue au cours des bains de cuisson pour atteindre un niveau non détectable avant la 17<sup>e</sup> cuisson. La vitesse de disparition est plus importante dans les huiles contenant plus d'acide oléique. Le taux d'insaturation et la vitesse de consommation des antioxydants peuvent ainsi être liés.

En comparant les résultats avec les pourcentages de composés polaires relevés lors de l'utilisation des Oleotests®, une remarque peut être faite. L'huile HO est épuisée en tocophérols à un pourcentage de dégradation plus faible. Elle pourra donc être utilisée plus longtemps en ne contenant plus d'antioxydants. Les aliments produits ne bénéficient alors plus de l'action antioxydante pour leur conservation.

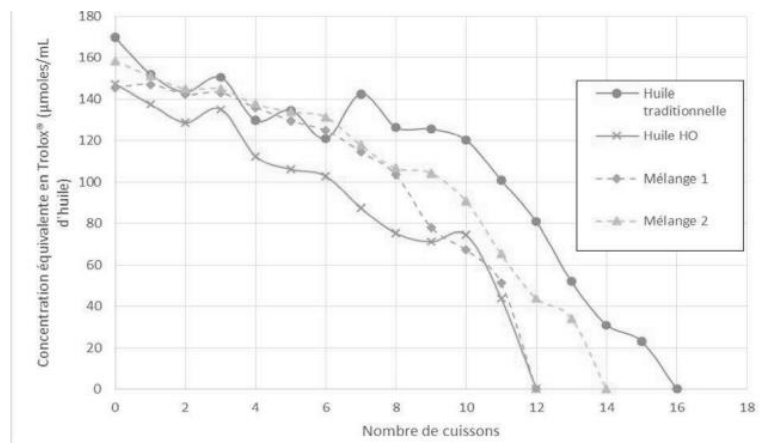


Figure 2 : Évolution de l'activité antioxydante des huiles testées, en  $\mu\text{moles de Trolox}^{\circledR} / \text{mL d'huile}$ , mesurée par un test au DPPH au cours des bains de cuisson.

#### 4. Conclusion

Le comportement à la cuisson des huiles est globalement fonction du taux d'AGMI, et donc d'acide oléique. Lors de la dégradation des triglycérides, l'hydrolyse est minoritaire et non liée à la composition de l'huile. Lors des réactions thermo-oxydative une plus grande quantité d'acide oléique apporte une meilleure résistance. L'activité antioxydante est plus élevée dans les huiles riches en AGPI. Elle ne suffit toutefois pas à compenser la plus grande sensibilité aux réactions thermo-oxydatives.



# Simulation et contrôle de la température d'un hall industriel

Ir. T. DELAITE – Ing. C. PHILIPPE – Dr Ir. V. HANUS  
PIERRARD – Viton – ULB BEAMS Energy

## 1. Introduction

La température de très nombreux halls industriels est actuellement régulée via une ventilation pulsant de l'air chaud ou froid en fonction des besoins. Dans ceux-ci, la régulation s'effectue généralement en contrôlant la température de ventilation via un régulateur PID tandis que le débit est géré en « tout ou rien », en désactivant les différentes gaines de ventilation, ou en les activant à leur débit maximal.

Ce projet propose une optimisation du contrôle en régulant, en même temps, les deux variables affectant la température interne via un contrôleur PID. Puisqu'il existe deux variables d'entrée pour une seule de sortie, il est nécessaire d'introduire des équations supplémentaires pour résoudre le système. La méthode choisie est une optimisation des coûts de fonctionnement de la soufflerie afin de trouver une solution permettant de garantir la température désirée dans le hall tout en minimisant les coûts de fonctionnement de l'installation.

## 2. Modélisation thermique

Le système thermique de l'installation est donné par son équation différentielle [1] :

$$\rho c_p V \frac{dT_{in}}{dt} = \rho c_p \dot{V} (T_{su} - T_{in}) - AK(T_{in} - T_{out}) - \rho c_p \dot{V}_{inf} (T_{in} - T_{out}) + \dot{Q} \quad (2.1)$$

Avec

$\rho$	Masse volumique de l'air	$[kg/m^3]$
$A$	Surface d'échange entre le bâtiment et l'extérieur	$[m^2]$
$c_p$	Capacité thermique massique	$[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
$K$	Coefficient de transfert thermique surfacique	$[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
$\dot{Q}$	Flux thermique interne	$[W]$
$T_{in}, T_{out}$	Températures interne du /externe au bâtiment	$[^\circ C]$
$T_{su}$	Température de la soufflerie	$[^\circ C]$
$V$	Volume du bâtiment	$[m^3]$
$\dot{V}, \dot{V}_{inf}$	Débit total de la soufflerie, débit d'infiltration	$[m^3/s]$

---

Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°35, 2021

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

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

### 3. Optimisation des variables en système MISO

Pour optimiser les variables de commandes  $T_{su}$  et  $\dot{V}$ , il est tout d'abord nécessaire de modéliser l'évolution de leur coût. Cette méthode de résolution est analogue à celle développée dans l'optimisation de centrales électriques [2].

Le but est d'optimiser le coût total en fonctionnement tout en considérant ces évolutions de coûts comme des fonctions quadratiques ( $C(x) = \frac{a}{x}x^2 + bx + c$ ):

$$C_{total} = C_{T_{su}}(T_{su}) + C_{\dot{V}}(\dot{V}) = \frac{a_{T_{su}}}{2}T_{su}^2 + b_{T_{su}}T_{su} + c_{T_{su}} + \frac{a_{\dot{V}}}{2}\dot{V}^2 + b_{\dot{V}}\dot{V} + c_{\dot{V}}$$

Tout en garantissant la température interne du hall en régime ( $\frac{dT_{in}}{dt} = 0$ ) depuis l'équation (2.1) :

$$T_{in} = \frac{\dot{V}T_{su} + \left(\frac{AK}{\rho c_p} + \dot{V}_{inf}\right)T_{out} + \frac{\dot{Q}}{\rho c_p}}{\dot{V} + \frac{AK}{\rho c_p} + \dot{V}_{inf}} \quad (3.1)$$

Il faut également adjoindre les limites opérationnelles du système puisque les systèmes physiques ne sont opérationnels que dans une gamme de valeur donnée :

$$\begin{cases} T_{su,min} \leq T_{su} \leq T_{su,max} \\ \dot{V}_{min} \leq \dot{V} \leq \dot{V}_{max} \end{cases} \quad (3.2)$$

Les équations (3.1) et (3.2), couplées aux fonctions quadratiques de coûts donnent finalement, grâce aux équations d'optimisation, un système de trois équations à trois inconnues non-linéaires couplées à deux inéquations qu'il faut résoudre [3] :

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial T_{su}} = a_{T_{su}}T_{su} + b_{T_{su}} - \lambda \left[ \frac{\dot{V}}{\dot{V} + \frac{AK}{\rho c_p} + \dot{V}_{inf}} \right] = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{V}} = a_{\dot{V}}\dot{V} + b_{\dot{V}} - \lambda \left[ \frac{\left(\frac{AK}{\rho c_p} + \dot{V}_{inf}\right)(T_{su} - T_{out}) + \frac{\dot{Q}}{\rho c_p}}{\left(\dot{V} + \frac{AK}{\rho c_p} + \dot{V}_{inf}\right)^2} \right] = 0 \\ T_{in,ref} = \frac{\dot{V}T_{su} + \left(\frac{AK}{\rho c_p} + \dot{V}_{inf}\right)T_{out} + \frac{\dot{Q}}{\rho c_p}}{\dot{V} + \frac{AK}{\rho c_p} + \dot{V}_{inf}} \\ T_{su,min} \leq T_{su} \leq T_{su,max} \\ \dot{V}_{min} \leq \dot{V} \leq \dot{V}_{max} \end{cases} \quad (3.3)$$

Afin de résoudre ce système d'équations non-linéaires, il est possible d'utiliser un algorithme de dichotomie fonctionnant comme suit [4] :

- Il estime tout d'abord  $\lambda$  via la dichotomie ;
- Il calcule les nouvelles valeurs de  $T_{su}$  et de  $\dot{V}$  correspondant à ce  $\lambda$  en linéarisant les équations (ou avec les non-linéarités pour des solveurs avancés) ;
- Il obtient la valeur de  $T_{in}$  correspondant à ces valeurs ;
- Il met à jour  $\lambda$  en fonction du résultat de  $T_{in}$  ;
- Il continue les itérations jusqu'à ce que la tolérance désirée soit atteinte ou qu'un nombre d'itération maximal soit dépassé.

Malheureusement, les résultats obtenus via cette optimisation n'étaient pas réalistes à cause des non-linéarités du système couplées aux méthodes de résolution du logiciel *Matlab*. Il a dès lors été choisi de négliger certaines parties du système d'équations afin que *Matlab* puisse effectuer l'algorithme. Les résultats ne seront dès lors pas optimaux mais seront néanmoins bien meilleurs que les utilisations classiques en « tout ou rien ». Le contrôle de la variable principale  $\lambda$  s'effectue via un contrôleur PI dont le paramétrage optimal est également réalisé via *Matlab*.

Ces analyses simplifiées mènent aux résultats des figures 1 et 2 illustrant l'évolution des paramètres  $T_{su}$  et  $\dot{V}$  optimaux en fonction de la température externe ainsi que l'évolution du coût horaire total  $C_{total}$  et de sa dérivée  $\lambda$  :

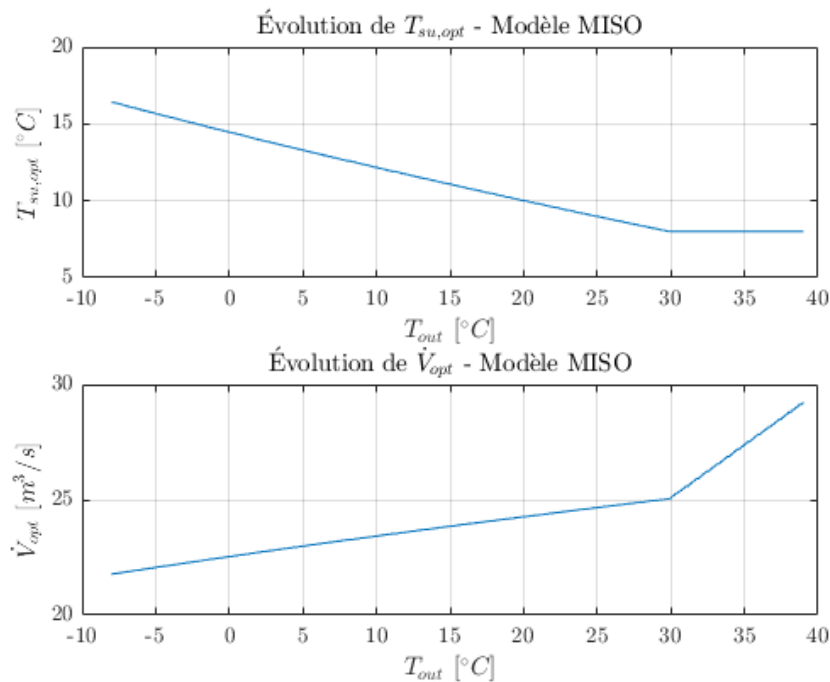


Figure 1 : Evolutions des paramètres  $T_{su}$  et  $\dot{V}$  optimaux

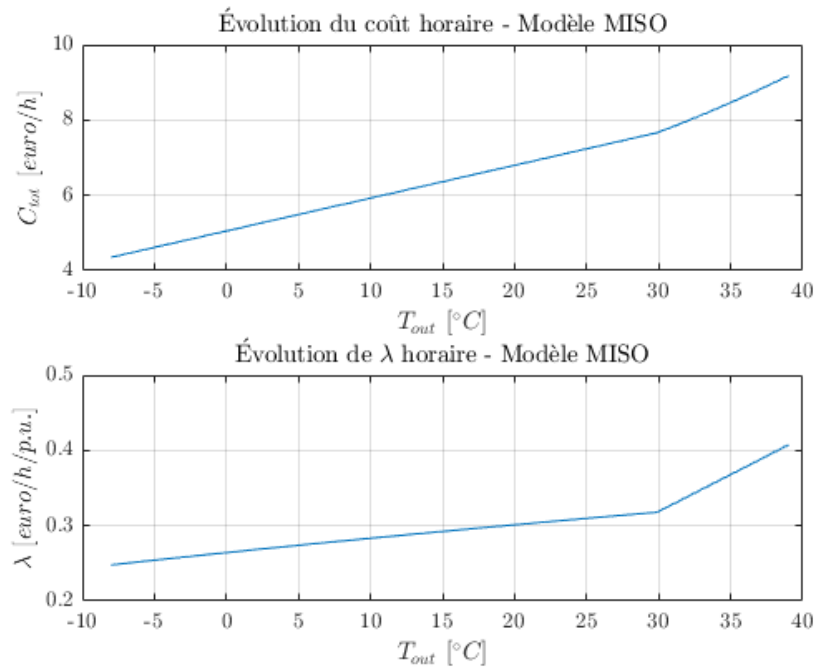


Figure 2 : Evolutions de  $C_{total}$  et de  $\lambda$

#### 4. Simulations et résultats

Les simulations du système simplifié sont illustrées aux figures 3 et 4. Même si ces résultats ne sont pas totalement optimaux, les résultats de  $T_{su}$  le sont parfaitement.

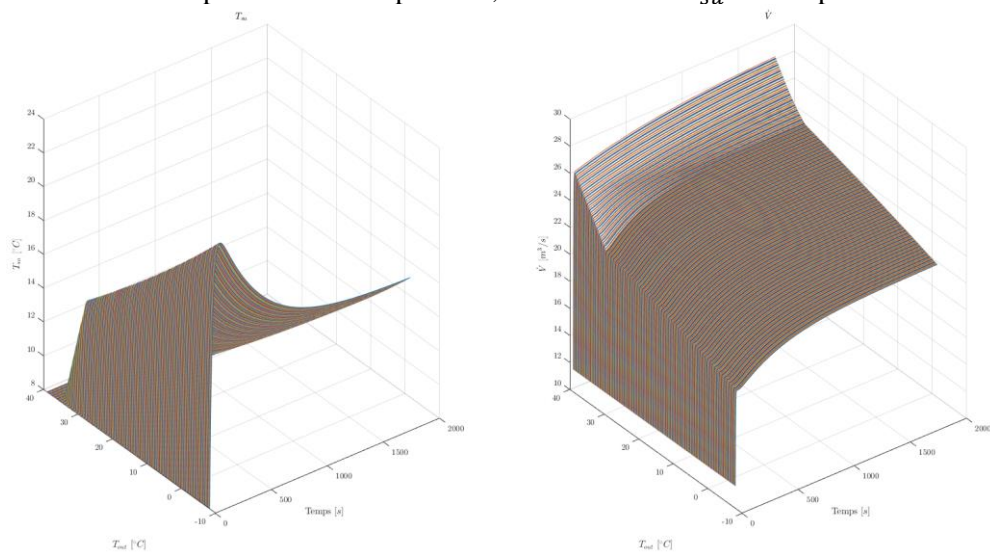


Figure 3 : Evolutions de  $T_{su}$  et  $\dot{V}$  du modèle MISO

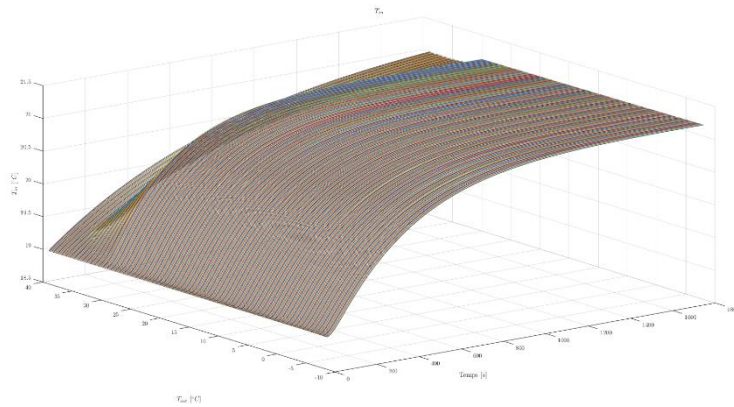


Figure 4 : Evolution de  $T_{in}$  du modèle MISO

$T_{su}$  et  $\dot{V}$  varient simultanément afin de garantir la température interne dans le hall et ce, quelle que soit la température extérieure grâce au contrôleur PI tout en optimisant les coûts. Le système conçu est donc plus efficace que les méthodes classiques.

## 5. Conclusion

En conclusion, ce projet a permis d'optimiser efficacement la température interne d'un hall de production en contrôlant à la fois la température de soufflerie mais également le débit de ventilation via un contrôleur PI régulant  $T_{su}$  et  $\dot{V}$  via  $\lambda$ .

Cette méthode peut être améliorée s'il était possible de résoudre parfaitement les équations non-linéaires du système d'équations afin d'obtenir des résultats encore plus optimaux et pour garantir une température interne au hall en toutes conditions.

## 6. Sources

- [1] HANUS, V., *Génie énergétique*, Notes de cours, Virton, Belgique : Hénallux – Département Ingénieur Industriel de Pierrad-Virton, 2019, pp.159.
- [2] HENNEAUX, P. & GENÊT, B., *Electric Power Systems*, Notes de cours, Bruxelles, Belgique : Université Libre de Bruxelles, 2019.
- [3] FORTEMPS, P. & PIRLOT, M., *Mathématique pour l'Ingénieur*, Notes de cours, Université de Mons, 2009.
- [4] SAUCEZ, P., *Analyse numérique*, Notes de cours, Mons, Belgique : Université de Mons, 2011.



# Améliorations d'un équipement de mesure fine et directe par radiotraceurs de consommation d'huile de moteur à combustion interne.

Ing. M. ABDESSATER – Dr. Ir. M. Pochet

ECAM – Bruxelles

Un moteur à combustion interne consomme inévitablement de l'huile et si celle-ci n'est pas maîtrisée, elle peut constituer, entre autres, un gros problème pour l'environnement. Les motoristes travaillent sur différentes idées pour réduire cette consommation et ont besoin de tester et de vérifier leurs idées de manière précise. Pour ce faire, DSI a développé une méthode de mesure qui présente énormément d'avantages comparée aux standards de mesures par pesées classiquement utilisées chez les motoristes. Cette méthode utilise une mesure de radioactivité à l'échappement après mélange de l'huile moteur avec un radiotraceur. L'équipement qui s'attache à cette méthode, bien qu'il soit déjà performant, a pu être optimisé à la suite d'un projet de création d'une nouvelle version de l'équipement. Cet article résume l'amélioration en précision après allongement du détecteur à scintillation intégré dans l'équipement.

## 1. Optimisation

La méthode telle qu'elle est réalisée dans l'entreprise pouvait être améliorée par l'allongement du détecteur de l'équipement car, cet allongement permet principalement deux choses :

- d'une part, de réduire l'erreur commise sur les approximations faites lors du calcul de l'efficacité de détection expliqué plus bas;
- de l'autre part, d'augmenter le nombre d'événements observés du phénomène statistique que l'on mesure.

Ces deux choses ont fait chacune l'objet d'une étude. La première est plus intuitive : elle se base sur le fait que comme le détecteur est plus long, géométriquement : cela va permettre de voir une plus grande partie du rayonnement de la source. La deuxième se base sur le fait que l'allongement du détecteur permet au détecteur de compter plus de désintégrations radioactives. Il y a d'autres moyens de compter plus de

désintégrations radioactives, comme par exemple augmenter le temps d'acquisition de mesure ou augmenter la radioactivité de la source.

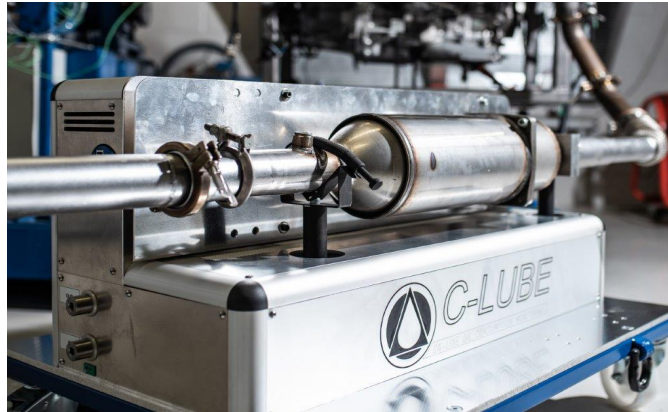


Figure 1: Photo de la nouvelle version de l'équipement

## 2. Réduction de l'erreur sur l'efficacité

Une source radioactive rayonne dans toutes les directions et dans la plupart des cas il est très difficile d'entourer entièrement la source avec un détecteur. De ce fait, une mesure de radioactivité ne peut fournir des valeurs absolues que si le système est correctement calibré. Une calibration permet de définir précisément la fraction du rayonnement perçue par le détecteur, qu'on appelle efficacité de détection «  $\epsilon$  », par rapport au rayonnement total de la source que l'on mesure. On distingue alors l'activité qui est le nombre de désintégrations totales de la source réalisées par seconde et les « coups par seconde (CPS) » qui représentent le nombre de désintégrations captées par le détecteur par seconde. Le détecteur à scintillation de base a une zone de détection de 31 cm et se trouve à une position fixée en face du filtre à particules qui lui fait 38cm. La ligne d'échappement, suivant sa complexité, va piéger plus ou moins une partie des résidus d'huile consommée : ceci est dû à la rugosité des parois, du nombre de coudes dans la ligne, ainsi que d'autres paramètres. Il y a donc ces résidus d'huile piégée dans la ligne d'échappement ainsi qu'une partie des résidus dans le filtre à particules qui ne sont pas vus par le détecteur. Si cette quantité est grande, ça peut avoir un impact non négligeable sur les mesures.

Pour expliquer cela, reprenons la notion d'efficacité de détection. Celle-ci permet de dire que même si le détecteur ne voit pas les résidus de combustion de l'huile piégés dans la ligne d'échappement et aux extrémités du filtre à particules, ceux-ci sont quand même pris en compte dans les résultats. On distingue alors 3 types d'emprisonnements des résidus de combustion d'huile :

- la fraction qui se dépose dans la ligne d'échappement ( $f_{Ligne}$ ),

- la fraction qui est piégée dans le filtre à particules qui n'est pas vue par le détecteur ( $f_{FAP}$ ); et
- la fraction qui est piégée dans le filtre à particules et qui est vue par le détecteur ( $f_{FAP}$ ).

Ceci veut dire que  $f_{FAP} + \overline{f_{FAP}} + f_{Ligne} = 1$  et que, tant que  $f_{FAP}$  ne change pas par rapport à  $\overline{f_{FAP}} + f_{Ligne}$ , l'efficacité trouvée lors de la calibration permet de retomber exactement sur la valeur de consommation totale. On comprend donc intuitivement qu'allonger le détecteur va supprimer une source d'erreur de l'équipement, car  $\overline{f_{FAP}}$  sera très faible. Une erreur théorique de 2,6% était commise sur les résultats de consommation d'huile avec le détecteur standard alors qu'en considérant une longueur plus grande, l'erreur n'est plus que de 0,65%.

### 3. Amélioration par effet statistique

Même si on considère la méthode de mesure comme étant parfaite et sans erreurs, il y a toujours une incertitude dans la détermination des rayonnements en raison de la nature aléatoire du phénomène qu'on mesure. En connaissant la loi de probabilité de cette variable aléatoire, on peut connaître l'incertitude de la valeur moyenne d'un ensemble de points de mesure. Cette loi de probabilité peut être approximée à une loi normale de paramètres « m » et «  $\sigma$  ». Si on considère « k » points mesurés successivement après chaque temps d'acquisition « t », la meilleure estimation de la moyenne m correspondante au nombre moyen le plus probable de désintégrations est alors la moyenne « m' » de l'ensemble des « k » valeurs mesurées, avec «  $\sqrt{m'}$  », la meilleure estimation de l'écart type «  $\sigma$  ». À l'aide des propriétés de la distribution normale, on peut alors dire qu'il y a 95,5% de probabilité que  $m' - m \leq 2\sqrt{m'}$ , ce qui veut dire que la dispersion relative entre les points de mesures sera plus petite quand la moyenne m' sera grande. Et que donc au plus le comptage sur une acquisition sera élevé et le temps d'acquisition sera long, au plus la valeur obtenue « m' » sera proche de la moyenne réelle de la distribution « m ». L'allongement du détecteur permet une détection supplémentaire de désintégration de 33,6%, ce qui permet dans certaines conditions moteurs relativement une réduction de l'incertitude jusqu'à 13%.

### 4. Conclusions

Les deux analyses ont fait ressortir qu'il y a un avantage non négligeable à l'utilisation d'un détecteur qui recouvre l'entièreté du filtre à particules. Avec la réduction

de l'erreur sur l'efficacité, on se rend compte qu'on peut gagner en précision en utilisant un détecteur plus long. Avec le taux de comptage supplémentaire, on voit que l'augmentation en précision est petite. L'amélioration en précision par effet statistique peut vraiment faire la différence pour des points de fonctionnement qui consomment très peu d'huile ou pour mesurer des points de fonctionnement transitoires où le temps d'acquisition est alors très petit. Ceci est non négligeable car ce genre de point de fonctionnement nécessite en général l'utilisation de davantage de traceurs radioactifs. Il est à noter que l'efficacité de détection étant petite (de l'ordre de grandeur de 5%), cette piste peut encore être fort creusée. Pour davantage d'améliorations sur la méthode, il faudrait se pencher sur l'incertitude due à la calibration.





# LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES

**Année académique 2019 -2020**

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

- [E] de MEULENAER Jean-François Design of a control structure aiming to suppress the force-fighting phenomenon between a pair of electromechanical actuators in a primary flight control system
- [E] DELVINGT Julien Etude de l'effet de la commande sur les vibrations d'une machine asynchrone
- [E] EL AYADI Soufiane Optimisation de boucles de régulation PID
- [E] M'RINI Ilias Régulation des hauteurs et des débits de voies navigables avec différentes lois de commande étudiées sur différents modèles
- [H] VANDER STRICHT Thomas Conception d'un régulateur PID et optimisation d'une régulation de température de pulsiion d'une centrale de traitement d'air

### 1.2. SYSTÈMES SÉQUENTIELS

- [E] BERTIEAUX Pierre-Olivier Étude, amélioration et automatisation d'une machine de thermoformage plastique destinée à l'emballage dans le domaine industriel
- [H] LOSFELD Rosalie Optimisation of a chemostat to increase lactic acid fermentation capabilities through hardware and Matlab software improvements

### 1.3. ROBOTIQUE

- [G] GOFFART Guillaume Automatisation d'une machine CNC avec un Robot articulé
- [P] KRAUS Geoffrey Robotisation d'une presse à extrusion
- [G] STORDEUR Jordan Autonomous Mapping Robot Under ROS

### 1.4. AUTOMATES PROGRAMMABLES

- [E] CUMPS Romain Étude et conception de solutions d'éclairage public automatisé à travers deux dossiers de marchés publics : Intelligent Street Lighting de Sibelga (phase de soumission) et Illumination de bâtiments et éclairage public du parc du Cinquantenaire de Beliris (phase d'exécution)
- [H] DEBLIQUY Corentin Remplacement d'un terminal technicien sur une ligne de production
- [H] DIMARCA Vincent Etude de revamping de l'armoire de contrôle d'une machine à remplissage Big-Bag

[P]	DUCHÊNE Roy	Modernisation du système de contrôle de commande du chargement de fours à chaux
[P]	GILLET Niels	Amélioration et monitoring d'une station de filtration d'huile
[P]	GOIRE Antoine	Automatisation et visualisation d'un système de contrôle de positionnement des flacons soin intégré sur la ligne de distribution Gama
[P]	HOUBA Guillaume	Upgrade complet d'un sliter
[E]	LIBAMBU-MAWUSSE Samuel	Analyse d'une solution de gestion de parking intégrant des équipements Macq
[H]	PERMANNE Vincent	Supervision d'un four à chaux en WinCC explorer

### 1.5. CAPTEURS ET INSTRUMENTATION

[G]	ABBASI Aman ur Raheem	Conception of tactile capacitive sensors on metal substrate by printed electronics
[H]	COOLSAET Rémy	Maintenance prédictive par des capteurs sans fil dotés de capacités de récupération d'énergie
[E]	DE COCKBORNE Louis	Prototypage - Point de Vente Automatique
[E]	PAQUES Robin	Empowering data to bring high customer value in the industrial door industry
[H]	PAUWELS Alexander	Validation, tests et robustification d'un prototype d'outil de diagnostic

### 1.7. MODÉLISATION

[P]	HARTMAN Nicolas	Integration of a test bench dedicated to measure multipath in the frame of GNSS reference site characterisation
[E]	KABAKAMANY MAMBA KALALA Lionnel	Conception d'un contrôleur de vol pour un UAV à voilure fixe en configuration canard

## 2. CHIMIE

### 2.1. CHIMIE INDUSTRIELLE ET PROCÉDÉS PILOTES

[G]	CAPPELLEN Antoine	Étude de la valorisation de l'oxygène coproduit par les électrolyseurs John Cockerill
[G]	ETIENNE Sacha	Prétraitement alcalin dilué des drêches de brasserie en vue de production de molécules plateformes à destination de la chimie verte
[H]	GUADAGNIN Maxime	Contribution à l'élaboration de recettes employant l'œuf en poudre dans le cadre de la production industrielle de gaufres

[G]	LIBERT Tim	Big Data Analysis of Evaporation Unit for Artificial Intelligence Control
[H]	LIÉNARD Arnaud	Amélioration continue des processus et des performances sur deux lignes de production industrielle
[G]	MOISSE Martin	Développement et construction d'une unité mobile de biométhanisation pour le site lacustre de Ganvié
[G]	NOLS Julie	Validation of lime production process from Lhoist and clinker production process from CBR using ValiStudio software.
[G]	SOULTIS Dimitri	Fuel Additivation by "Green" Lipophylic Metal Complexes

## 2.2. BIOCHIMIE – BIOTECHNOLOGIE

[H]	DEVOS Rémi	Mise en œuvre, validation et caractérisation d'un système de filtration acoustique pour la rétention cellulaire dans le cadre de cultures perfusées en bioréacteur
[H]	JANSENNE Astrid	Suivi de la dégradation d'huiles végétales de friture, contenant différents taux d'acide oléique, au cours de bains de cuisson
[H]	MATERNE Dylan	Étude de la biodégradabilité de microbilles d'origine végétale, validation de la méthode de dosage de l'alginate par spectrophotométrie et décoloration des microbilles
[H]	THERAIN Sebastien	Mise au point de méthodes de dosage d'activité d'enzymes entrant dans la formulation de détergents
[H]	VLASSCHAERT Corentin	Production d'une bière non filtrée de haute brillance : exploration et optimisation des paramètres technologiques d'influence

## 2.4. CHIMIE DES MATÉRIAUX

[G]	CEINOS Rodrigue	Evaluation d'un agent dispersant alternatif utilisé dans la fabrication de mélanges-mâtres
[H]	NGANJIE NGANJIE Josiane	Méthode de quantification du voile sur des verres revêtus de couches d'argent

## 2.5. GÉNIE CHIMIQUE – OPÉRATIONS UNITAIRES

[H]	DE LUCA Carolina	Etude du traitement par filtration du volume résiduel de polyol lors d'un changement de campagne de production
[G]	DOSSOGNE Arnaud	Waste Incinerator Modelling in VALI 5

## 2.7. CHIMIE ANALYTIQUE

- [H] COMPÈRE Steven                      Caractérisation physique des excipients pharmaceutiques

## 3. CONSTRUCTION

## 3.1. STABILITÉ ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

- [E] CELA Semra                              Réfection d'un tablier de pont au moyen de béton de fibres ultra-performant
- [E] HORVATH Sebastien                      Étude des accélérations horizontales sur les bâtiments de grande hauteur dues à l'action du vent
- [E] MENDOZA ALONSO Javier                      Analyse de l'effet des lamelles pultrudées de carbone sur la fissuration du béton
- [E] MOSSERAY Hugo                              Lunar construction materials: improvement of the compressive strength of sintered regolith through addition of nanoparticles
- [G] VINCENT Ugo                              Étude de la stabilité en cours de montage d'une structure mixte pour le chantier du Pôle Culturel de Bavière.

## 3.2. CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

- [E] HIEN Sansan                              Dimensionnement d'un hall industriel destiné à améliorer le processus d'entretien des containers de chantier

## 3.3. BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT

- [E] DE BOECK Cyprien                              Analysis of the mechanical characteristics of the material used for 3D concrete printing and finite element analysis
- [G] LAMBIN Caroline                              Un tramway sur ressorts à Luxembourg-Ville : Étude de l'optimisation de la phase de gros-œuvre
- [E] MARZOUK Hamza                              Calcul, optimisation et conception des quais RER type tables
- [G] RUSSON Olivier                              Dimensionnement complet de la structure d'un château d'eau en béton armé d'une capacité de 40m<sup>3</sup> en vue d'alimenter le village de Tuléar
- [G] WEELLEN Robin                              Optimisation énergétique de l'usage de l'électricité dans le cadre du village d'écotourisme "YourNature"

## 3.4. GÉOTECHNIQUE – MÉCANIQUE DES SOLS

[G]	BODARWE Jean	Étude du traitement des sols en place
[E]	CASTERMANS Charles	Fonçabilité des pieux par battage – méthodes de calcul et analyse de cas
[H]	COLLART Julien	Comparaison technique et financière entre divers types de fondations adaptées à la rénovation de la ferme des 3 moulins de Beau-raing
[E]	LATINNE Sacha	Etude du tassement des pieux de fondation sous sollicitation axiale
[E]	VERHELLEN Elodie	Influence des paramètres d'installation des pieux à tarière continue sur la performance finale des pieux

## 3.5. HYDRAULIQUE – ASSAINISSEMENT

[E]	TOULOUMTZIS Alexia	Simulation hydraulique du bassin Haren et projet d'extension du quartier Osier Fleuri
-----	--------------------	---

## 3.6. MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

[E]	BALANT Aline	Etude comparative entre la mise en œuvre de systèmes Low Tech et High Tech en rénovation
[E]	KISS Thibault	Caractéristiques morphologiques des particules fines de sable pour améliorer la rhéologie du béton
[E]	RENARD Eve	Gestion des déchets sur chantier : Étude de la temporalité des déchets sur chantier, de leur logistique et de leur optimisation
[H]	VAN HOLLE Arnaud	Composition de béton prêt à l'emploi dans la centrale « Roosens Bétons » localisée à Familleureux
[E]	WOUAKOUE NOUNE Igor	Contribution à la valorisation des fines de béton recyclé comme addition minérale dans le ciment

## 3.7. PROCÉDÉS ET TECHNOLOGIE

[E]	BLONDIAU Benoît	Apports du BIM aux petites entreprises de construction
[G]	BORLEZ Alexandre	Étude acoustique, économique et de stabilité de planchers d'immeubles à appartements

[E]	CRUYT Hadrien	Réalisation d'un guide dans les choix d'un principe logistique liés aux spécificités d'un projet en Région Bruxelloise en tenant compte de l'approvisionnement, la gestion sur site et l'extraction des matériaux
[E]	DE CONINCK Thibault	Comparaison de logiciels de simulation thermique dynamique
[E]	ECHALLAOUI Younes	Les méthodes du Lean Planning (LPS) et de l'Agilité en réponse aux contraintes rencontrées sur un projet de design de bâtiment ou génie civil
[E]	EL WAHABI Omar	Comment passer de constructeur de bâtiments à assembleur de bâtiments
[G]	GRAVY Laurent	Étude d'avant-projet d'une station d'emballage en BigBag centralisée
[E]	LOOR Elise	Analyse de l'expression du confort thermique dans le cadre d'un projet de logement collectif à Bruxelles
[E]	OERS Reginald	Concept du bâtiment zéro carbone : Analyse des solutions à mettre en place pour atteindre cet objectif, synthèse des difficultés, établissement et interprétation du bilan carbone d'un cas d'étude
[E]	ROBA Emilien	Monitoring et analyse de la logistique sur chantier en vue d'optimiser le modèle logistique du secteur de la construction
[E]	WAERSEGGERS Louis	Etude de l'équivalence des propriétés mécaniques entre l'épicéa et l'épinette noire pour la production de bois lamellé-collé par modélisation 3D
[G]	WESTHOF Flemming	Designing of alternative civil works for micro-hydropower schemes in sub-Saharan Africa
[E]	ZARKIK Saber	L'association du BIM et du LEAN pour une meilleure maîtrise de projet 4D

## 4. ÉLECTRICITÉ

### 4.1. Électricité générale

[E]	PIRSOUL Alexandre	Développement d'une installation électrique pour le contrôle et la commande d'équipements du tunnel Léopold II
[E]	VANDEKERKHOVE Clément	Diagnostic de l'entartrage des chauffe-eaux

## 4.2. MACHINES ÉLECTRIQUES

- [P] DENIS Jérémy Modernisation d'un palettiseur en vue de prolonger sa durée d'utilisation

## 4.3. ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- [G] COUMOUYN Wassa Gestion des défauts d'isolement dans un système d'alimentation d'infrastructure de télécommunication
- [E] MROUE Hussein Automated Tests of Power Converters and Electrical Components

## 4.4. Production – Transport – Distribution – Réseaux

- [G] ANDRÉ Lucas Electric Enclosure Monitoring: Development and optimization of a wireless electrical monitoring device for power transformers
- [P] CARIAUX Pauline Modification du poste électrique haute tension de Roullingen
- [G] COMBLE Firmin Maison autonome, déconnectée du réseau électrique
- [E] HOUDMONT Basil Analyse des comportements de différents onduleurs sur des installations photovoltaïques avec de l'ombrage
- [H] TSCHIRR Rémy Etude et Analyse du phénomène harmonique sur un réseau électrique basse tension « boucle 3 de l'entreprise GSK »

## 4.5. APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRICITÉ

- [E] de BROUCHOVEN de BER-GEYCK Louis Evaluating the power quality of machines with oscillating motions
- [G] MARTIN Nicolas Étude des possibilités de réduction des courants de pointe sur une ligne de galvanisation
- [G] NIX Xavier Conception d'une ligne de sciage automatisée et robotisée
- [E] WAELES Florian Études de l'entraînement électrique d'un balai de désherbage

## 4.6. ENTRAINEMENTS ÉLECTRIQUES

- [H] KANE Elimane Etude et conception d'un banc de test pour des moteurs de traction métro M6

## 4.7. APPLICATIONS ÉLECTRIQUES DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

- |     |                    |  |
|-----|--------------------|--|
| [G] | DIEU Virginie      | Voies de valorisation du stockage d'électricité via le reconditionnement de batteries de trottinettes électriques                                  |
| [G] | RATY Louis         | Étude de faisabilité et développement d'un outil prédictif pour l'offre d'un service de régulation de fréquence à Elia par une cogénération biogaz |
| [G] | SERUGENDO Cédric   | Potentiel solaire pour les chauffages à distance en Suisse : évaluation par l'étude d'archétype  |
| [E] | THIRIFAYS François | Étude sur l'optimisation énergétique, économique et environnementale des centres commerciaux en Belgique   |

## 4.8. ÉLECTRICITÉ DU BATIMENT - DOMOTIQUE

- |     |                       |   |
|-----|-----------------------|---|
| [G] | VANVINCKENROYE Thomas | Optimisation du taux d'autoconsommation d'une installation photovoltaïque |
|-----|-----------------------|---|

## 5. ÉLECTRONIQUE

## 5.1. SYSTEMES EMBARQUÉS – COMPOSANTS PROGRAMMABLES

- |     |                       |   |
|-----|-----------------------|---|
| [E] | BERTRAND Sam          | Designing an Internet of Things device to geolocate people outside a perimeter in the NeoFinder startup project frame |
| [G] | BOLSÉE Gilles         | Étude et réalisation d'un profilomètre pour galet de broyage d'un Vertical Roller Mill                                |
| [E] | DE HEMPTINNE Matthieu | Development of an underwater data acquisition system - Software design  |
| [E] | JACOBI Jordan         | Design and Specification of a Hardware Blockchain based Wallet with a minimum viable product approach                 |
| [G] | PECHEUR Gaëtan        | Development of an electronic grenade launcher control panel   |
| [G] | RAYMACKERS François   | Système de protection volumétrique embarqué basé sur la technologie ToF pour porte rapide industrielle                |
| [E] | VANDEPOELE Diego      | Development of a racing steering wheel to be used in a wind tunnel test racing cockpit                                |
| [H] | WAUTHY Adelin         | Etude, développement et prototypage d'un convertisseur DC/AC à haute fréquence  |

## 5.3. APPLICATIONS SCIENTIFIQUES – ÉLECTRONIQUE MÉDICALE

- [G] MARCHESE Alexandre                      Gestion électronique de la phase oscillante d'un genou d'orthèse cruro-pédieuse

## 5.4. MESURES – INSTRUMENTATION – SIMULATION

- [G] GERASIMTCHIK Vassili                      Study of a Wireless Inductive Coupling Technology in order to operate ultrasonic sensors
- [H] HUYGELIER Gaëtan                      Development of a fabric position detection within a multi-functional TIAGo robot gripper used for clothes manipulation
- [H] LOUIS Pierre                      Étude et réalisation d'une chaîne de récupération d'énergie de vibration et d'un Power Reader

## 5.5. TÉLÉCOMMUNICATIONS – TECHNIQUES DE TRANSMISSION

- [H] CARDON Loïc                      Collecte de données PLC au travers d'un système IoTedge programmé en python
- [E] LEGRAND Gaëthan                      Implémentation du « roaming » au sein d'un réseau LoRaWAN et étude d'une solution décentralisé basé sur la technologie blockchain

## 5.7. SON – IMAGE – ÉCLAIRAGE – OPTOÉLECTRONIQUE

- [H] DRANSART Florent                      Development of a LiFi (Light Fidelity) prototype

## 5.8. APPLICATIONS DE L'ÉLECTRONIQUE

- [G] DEGREEF Grégory                      Développement d'un système de suivi sans fil et autonome pour les produits Eloy Water
- [H] DELPORTE Gauthier                      Design d'un algorithme pour batterie de type lithium-ion visant à améliorer le temps de charge
- [H] GILLES Guillian                      Conception et réalisation d'une alimentation à découpage pour un poste à souder à décharge par condensateur
- [G] GRENSON Mathieu                      Exploitation d'une matrice de micro-actuateurs pour améliorer un procédé d'additive manufacturing SLS
- [G] HOUBIERS Vincent                      Conception et réalisation d'une tête laser télémétrique fonctionnant à 1550 nm

## 6. ENVIRONNEMENT

### 6.1. ASPECTS ECOLOGIQUES DES TECHNIQUES DE PRODUCTION

- [E] GUENNOUN ESSABBAN Khaled Analyse énergétique et étude des points d'économies plausibles d'un bâtiment européen
- [E] ZEKHNINI Yassine Étude énergétique et dimensionnement d'un système de chauffage par Géothermie pour un Centre Scolaire, Sportif et Culturel à Bruxelles

### 6.3. DÉCONTAMINATION, PROTECTION ET ÉPURATION

- [H] PROVENZANO Loredana Etude du métabolisme azoté de *Paracoccus pantotrophus* dans le but de lutter contre l'eutrophisation
- [H] TRIGALET Simon Comparaison des traitements aérobie et anaérobie d'une station d'épuration d'eaux industrielles

### 6.5. DEVELOPPEMENT DURABLE

- [G] HERBILLON Michel Développement d'un outil de calcul d'autoconsommation rassemblant production renouvelable, stockage et mobilité électrique
- [E] van CAUBERGH Alexandre Quelle définition et quelle norme donner aux bâtiments « carbone zéro » ? Quels outils permettent d'atteindre cet objectif ?
- [E] VANDENKERCKHOVEN Antoine L'Urban Mining : une opportunité pour le secteur de la construction à Bruxelles ? Etude prospective des flux et stocks de matières engendrés par la rénovation énergétique de bâtiments types bruxellois

## 7. GÉOMATIQUE

### 7.1. TOPOGRAPHIE – GÉODÉSIE – SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

- [E] DREZE Anthony Création de géocodifications pour Waltopo et contrôle des règles associées
- [G] LAVAL Romain Spécifications techniques pour la prise en compte des caractéristiques du sol lors de la mise en place de barrières de sécurité en acier

## 7.4. GESTION DES BIENS IMMOBILIERS

- [G] DIRICK Joïc Comptabilité énergétique dans une école :  
Suivi et sensibilisation des occupants

## 8. GESTION

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

- [E] BERRAJ JUEID Moncef Parametric Scheduling and AI applied to the  
construction industry
- [H] CARON Quentin Optimisation du procédé de modification de  
la Porsche 911 historique chez BMA
- [G] DANIELS Maxime Conception, réalisation, étude technique et  
économique d'un fauteuil roulant tout terrain  
et de son industrialisation en vue de la créa-  
tion d'une entreprise viable et profitable
- [E] GODART Nicolas Projet d'amélioration des performances des  
processus de réparation sur des chantiers de  
maintenance lourdes d'avions Lockheed Mar-  
tin C130H
- [E] IKALULU Hugues Development and optimization of the preven-  
tive maintenance after the revamping of a re-  
cycling plant
- [P] LABOIS Johan Etude et supervision de la mise en place d'un  
système de surveillance des appareils ten-  
deurs pour le réseau ferroviaire Luxembour-  
geois
- [E] LEEMANS Bastian Implémentation d'outils « Lean » dans une  
salle propre utilisée pour le développement et  
l'assemblage de composants dans le domaine  
de l'aérospatiale
- [H] MAILLI Maxime Amélioration des conditions de travail de  
techniciens dans le milieu ferroviaire
- [G] PERON Magali Stability of Fishing Vessels in accordance  
with the Formal Safety Assessment Method-  
ology

## 8.2. CONTRÔLE QUALITÉ - FIABILITÉ

- [H] DEBACK Raphaël Optimisation d'un process de contrôle par ul-  
trasons sur des pièces collées à la Sonaca

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

- |     |                 |   |
|-----|-----------------|---|
| [P] | BASTIN Nicolas  | Optimisation des paramètres du process de graphitage  |
| [H] | FALISSE Arthur  | Etude de conception de la station de traitement des eaux potables de l'aéroport de Charleroi                            |
| [H] | LA RUSSA Sophia | Révision d'une étude HACCP de plusieurs lignes de production au sein d'une industrie agro-alimentaire                   |
| [G] | LERUSSE Lisa    | Mise en place d'une démarche d'amélioration continue dans un atelier de production et conduite du changement            |
| [H] | SEDEFOGLU Hamza | Mise aux normes du site de Dawn Foods à Manage en vue de l'audit BRC et de l'obtention du label alimentaire Gluten Free |

## 8.4. RENTABILITÉ DES INVESTISSEMENTS – GESTION DES COUTS

- |     |              |   |
|-----|--------------|---|
| [H] | SERPE Amaury | Etude technique et financière d'humidificateurs pour centrale de traitement d'air |
|-----|--------------|---|

## 8.7. MANAGEMENT – STRATÉGIE – PROBLÈMES GÉNÉRAUX

- |     |               |  |
|-----|---------------|--|
| [E] | KAUFMAN Robin | Développement d'une méthodologie de gestion des actifs |
|-----|---------------|--|

## 9. INFORMATIQUE

## 9.1. ANALYSE – MODÉLISATION

- |     |                   |  |
|-----|-------------------|--|
| [E] | HANNOUNI Houda    | Cartographie de concepts informatiques et développement d'un outil de recherche multi-paradigmes       |
| [H] | LEEMANS Sebastien | Conception d'un programme de test automatique de performances d'un filtre de proximité                 |
| [E] | PETIT Jonathan    | Etude de l'impact du choix d'habitation sur le trafic à Bruxelles                                      |
| [E] | WERY Benoît       | Outil d'analyse de la propagation d'une information sur Internet dans le contexte de la désinformation |

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

- |     |                  |  |
|-----|------------------|--|
| [E] | AKHARAZE Yassine | L'étude et la mise en place d'un système de synchronisation de données |
|-----|------------------|--|

[E]	BEARD Julien	Analyse et développement d'un système de validation des données transmises par les entreprises du secteur de la santé au système européen
[E]	DEGELDT Martin	Design, conception et déploiement d'une solution full-stack de gestion de données de géolocalisation pour la startup NeoFinder
[E]	EL-ABBASSI Ilias	Projet MyPress - Développement d'un système de centralisation d'accès à la presse en ligne
[E]	MEREL Ludovic	Etude architecturale et développement d'un logiciel destiné à l'agence fédérale des médicaments et des produits de santé
[E]	PETIT Adrien	Unity 3D : Développement d'un jeu de promotion et de démonstration des techniques de réalité virtuelle
[E]	SIMON Christophe	Development of an application for AUTOSAR compliant software maintenance

### 9.3. TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES

[G]	WANIN David	Cartographie en temps réel de surface défilante
[H]	WENKIN Thomas	Inspection et assistance visuelle en milieu de production électronique

### 9.4. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET SYSTÈMES EXPERTS

[H]	AYDOGAN Berkan	Mise en place d'une architecture Big Data visant à traiter des logs et alimenter un Data Lake
[E]	BOURGUIGNON Maxime	Développement d'un réseau neuronal dédié à la reconnaissance de chiffres et son intégration à un système de reconnaissance optique de caractères pour améliorer ses performances
[E]	CLESSE Nathan	Development of a cost-effective and artificial intelligence based condition monitoring system for rotating machines
[H]	GARCIA Lucas	Mise en place d'une structure Big Data et collecte/analyse de données permettant, à l'avenir, la mise en place d'une IA de maintenance préventive
[E]	HACHEZ Hadrien	The stock replenishment through the machine learning
[E]	MROUE Mohamad	Création d'un système de paraphrase par des modèles de deep learning

- [E] PEETERS Arnaud Réduction du taux d'erreur de capteurs à ultrasons connectés
- 9.6. INFORMATIQUE INDUSTRIELLE
- [H] BALCAEN Antoine Conception d'une supervision dans le cadre du revamping de l'attraction « Rock and Roller Coaster » de Disney Land Paris
- [H] BATULEJI NTUMBA Xavier Etude d'un outil de standardisation des schémas électriques REMY
- [H] BRUNO Alessandro BMS d'un Data center Programmation PLC et supervision
- [H] DEMOUSTIEZ Loïs Etude de faisabilité et mise en place du rapatriement de données d'un cyclotron et la construction de son tableau de bord dans un but de maintenance préventive
- [H] DIALLO Kalli Analyse préparatoire à l'automatisation d'activités de tests d'un calculateur ferroviaire sécuritaire embarqué
- [H] GUILMIN Charles Conception et digitalisation d'un système permettant l'application de produits chimiques sur des pièces en polymère
- [H] HESSE Maxime Développement d'une solution de monitoring à distance pour une installation électrique
- [H] MAKKI Ridwan Migration d'une supervision en Factorylink vers une supervision en WinCC Flexible d'une assembleuse de câbles
- [H] MINNE Charly Extraction et traitement de données venant d'un système de contrôle qualité, dans l'optique d'un suivi en temps réel
- [G] VERVECKEN Thomas Implementation of new communication protocol and development of start-up sequence on production units
- [H] WERY Simon Réalisation et implémentation d'une procédure de communication : remontée d'évènements de production à la base de données Barflow
- [H] YERNAULT Gianluca Réalisation d'un émulateur dynamique de process pour automate Siemens
- 9.7. BASE DE DONNÉES
- [P] SCHYNS Pierre Amélioration du temps de passage et du degré d'utilisation des robots de soudage via la digitalisation des informations de process.

## 9.8. TECHNOLOGIE DE LA COMMUNICATION

- |     |                   |   |
|-----|-------------------|---|
| [P] | DEMIR Yasin       | Etude et conception d'un analyseur mettant en évidence un potentiel de récupération d'énergie électrique sur des machines industrielles |
| [H] | DESCHAMPS Florian | Automatisation du banc de test des produits HF  |
| [H] | GILBERT Cyril     | Pilotage des entrées et sorties d'un banc de test via communication Modbus TCP  |

## 10. MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

### 10.1. MÉTHODES NUMÉRIQUES ET ÉLÉMENTS FINIS

- |     |                |   |
|-----|----------------|---|
| [G] | SNYKERS Julien | Développement d'un laboratoire d'analyse vibratoire |
|-----|----------------|---|

## 11. MÉCANIQUE

### 11.1. MÉTROLOGIE ET INSTRUMENTATION

- |     |                   |  |
|-----|-------------------|--|
| [E] | ABDESSATER Maxime | Améliorations d'un équipement de mesure fine et directe par radiotraceurs de consommation d'huile de moteur à combustion interne |
| [H] | BETTEGA Dylan     | Pistes de développement d'un outillage de détection du type de butyral de polyvinyle (PVB) dans un verre feuilleté               |
| [H] | LEFEBVRE Robin    | Développement d'une procédure de contrôle de pièces composites par Linescan Thermography   |

### 11.2. FABRICATION MÉCANIQUE

- |     |                     |  |
|-----|---------------------|--|
| [E] | DJEUKAM Bonaventure | Optimisation d'une chaîne d'usinage sur base du logiciel « Tecnomatix plant simulation » et de NX                          |
| [E] | DREZE Quentin       | Optimisation du système de positionnement et de reprise d'effort de l'upper bolster sur presse RTM                         |
| [G] | GRANDJEAN Gil       | Analyse et définition de la conception des chaînes énergétiques et de l'impact de sa flèche pour le transport exceptionnel |

[G]	GRAVA Lucas	Modélisation multiphysique d'un procédé de moulage par compression en cavité fermée
[H]	GRIMONPREZ Charles	Harmonisation du procédé de fabrication de butées d'aiguillages
[G]	HERNÉ Etienne	Conception d'un chargement de poudre auto-régulant pour la fabrication additive
[E]	HEYMANS Charles	Développement et mise au point d'un équipement d'enroulage de lit de culture de cellules pour un bioréacteur
[G]	LALOUX Baptiste	Optimisation du processus de production par l'étude de conception des mouvements et mécanismes
[E]	LAUMONIER Valentin	Conceptual design of an alternative modular structure applied to high-lift devices
[H]	LEFEVRE Justin	Conception d'une plateforme mobile à hauteur variable destinée à la maintenance d'avions de chasse
[G]	LEGROS David	Improvement of the rubber upcycling process
[E]	LOOP Harold	Development of an underwater data acquisition system: Hardware design
[G]	MARCHAL Alexandre	Conception et certification d'un nouvel anneau d'arrimage pour des plateaux surbaissés
[G]	MASSON Florian	Étude et amélioration d'un système de nivellement de lit de poudre multi-matériaux pour la fabrication additive
[H]	RINCHON Florian	Optimisation de la sécurité d'accès à la coupole d'une tour : Conception d'une passerelle
[G]	SMETS Lionel	Conception d'un cadre de vélo en bambou sur base d'une technique de fabrication innovante, étude préliminaire de la production et élaboration d'un business plan dans le but de la création d'une entreprise éthique
[E]	THOMAS Léopold	Design of an adaptive wing leading edge demonstrator

### 11.3. CONSTRUCTION DES MACHINES

[G]	BALTHASART Guillaume	Étude de faisabilité d'un D-UPS KS7 bi-accu
[H]	BIERNY Antoine	Conception and manufacturing of a hydraulic flushing unit
[E]	DE KEYSER Olivier	Étude d'un volant d'inertie pour une moto
[H]	DEBETENCOURT Sam	Conception d'un composteur connecté et étude de qualité de tonte du robot Parcmow 2.0
[G]	DEMORTIER Jonathan	Organisation d'une cidrerie, conception et développement de machines par la méthode TRIZ et optimisation du bilan énergétique global

[E]	DUFILS Alexandre	Modernisation d'un simulateur de laminage à chaud automatisé
[P]	DULIEU Antoine	Conception d'un Lifting Device pour Bricks
[G]	GIUFFRE Nicolas	Standardisation mécanique d'une pompe axiale pour production de PE/PP
[P]	HABRAN Grégory	Etude de faisabilité et dimensionnement d'une intégreuse à fibre et adjuvants à béton
[H]	HANQUET Tom	Conception d'un banc de test de pompes auto-amorçantes
[E]	HENNAUT Robin	Conception d'un banc d'essais didactique pour moteur à combustion interne
[P]	HENRAR Andy	Conception d'une station de contrôle qualité des raclettes d'essuie-glace en ligne
[E]	JONCKHEERE Max	Conception et réalisation d'une plateforme mobile de phénotypage pour la caractérisation des traits observables de culture céréalière par imagerie
[G]	JOSKIN Boris	Développement d'un système de transfert sélectif d'image de poudre en deux étapes
[H]	LIVIN Julien	Amélioration d'un véhicule de compétition : VW FunCup
[G]	LOUIS Simon	Conception d'un faux moteur pour l'alignement de banc d'essai pour le turboshaft Ardiden 3C
[P]	MARCHAL Quentin	Conception d'une plateforme élévatrice pour cuves
[P]	MERTENS Andreas	Conception d'une nacelle et sa connexion pour une plate-forme élévatrice de personnel
[E]	NICODÈME Louis	Conception d'un dépositeur d'ingrédients secs sur pralines en chocolat
[E]	PERL Inès	Modernisation d'un simulateur de laminage à chaud automatisé
[G]	PHILIPPOT Romain	Dimensionnement d'un RPM
[P]	VANDEKERKOVE Augustin	Conception et réalisation d'un dispositif d'échantillonnage d'air à l'aide d'un drone
[H]	VERLINDEN Charlotte	Étude cinématique des suspensions de véhicules de rallye de la catégorie R5

#### 11.4. TECHNOLOGIE – PRODUCTIQUE

[E]	DALE François	Systématisation de la mesure de pression au département ABAL dans le contexte des prescriptions de la C.I.P.
[E]	DERUE Pierre-Henry	Investigation de pompes utilisées comme turbines en micro-hydroélectricité
[G]	FRANCK Romain	Étude et optimisation des freintes de préformes sur les lignes d'embouteillage

- [E] JOSSART Antoine Étude et réalisation d'un prototype de chargement automatique de boîtes pour étiqueteuse
- [E] MONTHE NJIKE Thierry Ebavurage d'une pièce avec le « ROBOT IRB 120 » de ABB à l'aide des logiciels : ROBOTSTUDIO 6 .08 de ABB et NX 12 de SIEMENS

#### 11.5. MAINTENANCE

- [E] de SCHIETERE de LOPHEM Jacques Fiabilisation d'une ligne de production aéronautique automatisée
- [E] de VIRON Harold Etude de solutions pour se prémunir d'un mauvais encodage de diamètre de roue

## 12. MÉCANIQUE DES FLUIDES ET THERMODYNAMIQUE

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

- [E] ARIAS CHACHALO Gandhi Etude pour la mise en place d'une cogénération et optimisation énergétique de celle-ci au niveau des installations existantes (production primaire chaud et froid) sur un bâtiment tertiaire
- [G] BUYCK Guillaume Analyse du dimensionnement et de l'intégration d'une cogénération au process de l'entreprise Timac Agro BeLux
- [G] SIMONS Maxence Comparaison technique et analyse Total Cost of Ownership (TCO) entre des systèmes de production de chaleur centralisés avec réseaux de chaleur et des systèmes individuels dans le cadre du projet du "Tubize Outlet Mall"

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

- [G] BERNARD Vincent Modélisation d'un Outil de Gestion de Projet pour les installations frigorifiques destinées au secteur du retail.
- [H] DE ROO Rémy Modélisation d'un tunnel de réfrigération pour la production de frites surgelées
- [H] DI PROSPERO Luca Operational and energy efficiency improvement of machine parks at Daikin Europe N.V.
- [H] LECLERCQ Florent Étude et dimensionnement d'une installation frigorifique destinée à un entrepôt Match à Fleurus

[P]	MARCHAL Maxime	Dimensionnement d'un échangeur de chaleur dans une station d'épuration (récupération d'énergie)
[H]	MATON Emilie	Energy performance evaluation during development of a new Daikin Altherma heat pump for Southern Europe market
[E]	NGUEDJUI NOUNE Hervé	Audit technique et énergétique de la résidence les églantines
[H]	NOËL Clara	Comparaison théorique et appliquée des performances énergétiques d'installations frigorifiques au CO <sub>2</sub> et NH <sub>3</sub> en application commerciale
[G]	SCHOEBRECHTS Guillaume	Audits énergétiques de magasins actifs dans le milieu du commerce alimentaire
[H]	TAVERNE Martin	Comparaison de méthodologies de dimensionnement de puissance frigorifique dans des bâtiments non résidentiels - Elaboration d'un outil de calcul
[G]	TAZIAUX Alison	Étude d'un échangeur de chaleur tubulaire à lit tombant de particules appliqué à une centrale à concentration solaire

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

[G]	DEBOUGNOUX Loïc	Comparaison technique et analyse TCO entre un système de climatisation 4 tubes et un système 2 tubes réversible avec batteries terminales électriques, pour des plafonds climatisants dans un immeuble de bureaux
[H]	DUNESME Loïc	Etude thermique et choix d'un système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire pour une école et optimisation de la solution
[H]	FILIPOZZI Alessio	Analyse théorique de la consommation du Westland Shopping Center suivant différents modes de production et de distribution de l'énergie thermique
[P]	HAMAIDE Antoine	Etude et dimensionnement du chauffage et de la distribution d'eau sanitaire pour un projet d'immeubles à appartements utilisant des sous-stations.
[G]	HAUSEUX François	Développement d'un modèle de simulation énergétique appliqué aux centrales de traitement d'air
[P]	JOURDAIN Frédéric	Etude et optimisation des techniques spéciales d'un bâtiment comprenant une partie académique et des logements

- [H] KAMTO KOUAM Jules Cesar Etude comparative de quelques humidificateurs et Optimisation de la régulation de l'humidificateur Microniser
- [H] LICCIARDI Filippo Dimensionnement HVAC et optimisations énergétiques et économiques de la tour A du projet Quatuor à Bruxelles
- [H] MALYEVIC Anthony Modification d'un four à chute pour une utilisation en atmosphère réductrice
- [H] MITKA Nell Etudes et dimensionnement des installations de techniques spéciales d'un bâtiment scolaire
- [P] PHILIPPE Clément Rénovation et optimisation de la climatisation d'un hall industriel
- [H] PICHRIST Tom Comparaison d'un système à détente directe et d'un système d'eau glacée dans le cadre d'une installation HVAC d'immeuble de bureaux
- [H] WAMBA LEMONGO Armand Etude technique du remplacement de la voute d'un four électrique

#### 12.4. ÉNERGIES RENOUVELABLES

- [P] BOVESSE Antoine Définition d'une gamme de turbines Pelton standardisée et dimensionnement de l'un des modèles
- [G] LAZRAQ Amin Étude préliminaire d'un récepteur solaire à particules
- [P] VIGNERON Arnaud Opportunités d'énergies renouvelables pour un magasin de détail

#### 12.5. RÉGULATION ET GESTION DES INSTALLATIONS – PROCESSUS THERMIQUE

- [G] BOULVAIN Pierre Réalisation d'un audit énergétique global dans un centre d'accueil de jour pour adultes en situation d'handicap
- [G] MONSEUR Arnaud Étude énergétique des installations de la patinoire olympique de Médiacité à Liège

#### 12.7. HYDRAULIQUE – PNEUMATIQUE – AÉRODYNAMIQUE

- [G] MATOT Robin Maintenance improvement: automotive parts mileage app, and hydraulic test bench development

#### 12.8. THERMIQUE DU BATIMENT

- [E] CARLIER Rémy Evaluation of Control Strategies for Switchable Building Envelope Systems

- [G] DACO Eloi Étude énergétique d'un bâtiment tertiaire de bureaux existant et analyse des pistes d'amélioration/économies.
- [G] DEFONTAINE Adrien Étude complète d'une installation de chauffage, aérothermie et stratification d'air pour un grand hall
- [E] GOVAERTS Lucas Développement d'un outil de simulation des flux énergétiques et du potentiel des énergies renouvelables en bâtiment tertiaire

### 13. PHYSIQUE

#### 13.2. OPTIQUE – ACOUSTIQUE

- [E] BEDORET Charles-Albert Étude de la corrélation entre les méthodes prédictives et les mesures en laboratoire de l'amélioration aux bruits de choc des sous-couches acoustiques et thermiques de chapes flottantes
- [E] KAYA Necati Étude de la contribution des transmissions latérales du second ordre dans l'isolation acoustique globale entre locaux non adjacents

#### 13.3. PHYSIQUE DE LA MATIÈRE

- [G] MERTES Maximilian SELECTION AND EXAMINATION OF MATERIALS FOR HIGH ENERGY PHYSICS APPLICATIONS
- [G] VEITHEN Adrian Optimization of Multi-Material Die Pressing and Sintering: Powder Selection and Study of Their Compression Behaviours

#### 13.4. AUTRES

- [E] ROSE Florian Dans quelles mesures peut-on appliquer les concepts de l'écoconstruction dans des espaces résiduels pour répondre à un problème de précarité immobilière ? - Recherche d'une solution reproductible d'enveloppe et de techniques spéciales du bâtiment

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

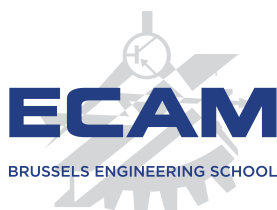
Le Père Laurent CAPART s.J. (HELMo-Gramme), Messieurs Benjamin BERGER (ECAM), Mikaël DHEN (ECAM), Joël VOISIN (HELHa) et Vincent HANUS (HENALLUX - Pierrard).

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





ÉCOLE D'INGÉNIEURS  
**Pierrard**



## **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/2021/7362/4001