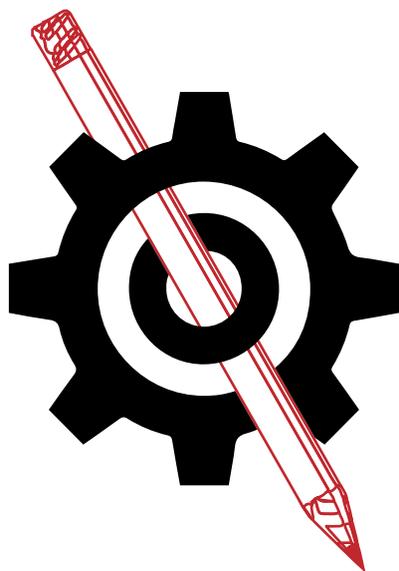


Revue Scientifique
des
Ingénieurs Industriels



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

Bruxelles
Liège
Mons & Charleroi
Virton

Édition n°37 (2023)
www.isilf.be

Revue scientifique n°37 – juin 2023

Revue Scientifique
des
Ingénieurs Industriels

**ECAM
GRAMME
ISICht
PIERRARD**

**Bruxelles
Liège
Mons et Charleroi
Virton**

**Edition n° 37
Juin 2023**

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

Fax : +32 (0)2/541.48.59 E-mail : 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

Fax : +32 (0)4/343.30.28 E-mail : 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

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

Grande-Rue, 185

6000 CHARLEROI

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

Fax : +32 (0)71/48.92.29 E-mail : 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

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

Une version plus développée des articles est accessible en ligne sur le site de la revue :
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.

Transition écologie : quel(s) impact(s) sur nos bâtiments ?

1. Transition écologique

Lors d'un de ses derniers éditos (18 juillet 2022, Forum de l'Engagement), Fabrice Bonnifet, président du Collège des directeurs du développement durable et de la RSE (C3D) et également directeur du développement durable du groupe Bouygues mentionnait ceci :

« L'idée de transition écologique suppose que nous devrions passer sans délai d'un « modèle énergétique sale » qui domine aujourd'hui vers un modèle parfaitement propre, c'est-à-dire sans carbone, pour nous conformer à l'Accord de Paris. Mais nous savons que la transition n'aura pas lieu car depuis la nuit des temps les énergies ne se substituent pas, elles s'empilent les unes sur les autres. (...) Bonne nouvelle, les gaspillages, le dérisoire, les erreurs dans la planification industrielle, le futile et l'inutile consomment et consomment l'essentiel des ressources de la planète, il y a donc de la marge pour vivre mieux avec moins. Mauvaise nouvelle nous n'avons pas encore trouvé le narratif pour rendre désirable la sobriété, tellement nous ne supportons pas l'idée de nous restreindre pour notre bien, pendant que d'autres continueraient de se « gaver » matériellement pour avancer toujours plus vite vers l'effondrement. »

Envisager un modèle parfaitement propre, sans réduire la taille de l'économie par la génération de la notion de « besoin du non-besoin », est en effet peu envisageable car pour rester sous les 1,5 °C de réchauffement climatique moyen à l'échéance de 2050, l'humanité va devoir, en seulement 28 ans, réduire l'utilisation des combustibles fossiles de 90 % par rapport à ses émissions de 2015 [1].

Or, sept ans après l'Accord de Paris, l'année 2022 marquera le record des émissions mondiales de GES avec 37,5 Gt CO₂ selon le Global Carbon Project [2].

On entend alors souvent que pour éviter le pire, il suffirait de passer au « tout électrique », et envisager des modes de production non-carboné. Mais pour envisager cette alternative de « substitution », les projections en matière d'électrification des véhicules, de développement des énergies renouvelables et de numérisation de tous les secteurs industriels requerraient d'extraire, au cours des trente prochaines années, une quantité cumulée de métaux qui dépasserait la quantité produite depuis l'Antiquité jusqu'à aujourd'hui [3].

Dès lors, la sobriété, dans son sens premier, s'impose : nous devons accepter d'adapter nos modes de vie aux réalités des limites planétaires. En protégeant l'essentiel de

notre confort, mais surtout en actant la fin de l'inutile incompatible avec le maintien des conditions de la vie sur terre. Mais comme le souligne M. Bonnifet dans son édito, rendre « *désirable la sobriété* », n'est pas encore chose aisée... D'autant plus qu'il est tout aussi difficile - voire même dangereux - de définir « ce qui est utile »...

Pourtant, envisager cette voie de stratégie économique de sobriété, c'est aussi permettre aux jeunes générations de retrouver le sens de leur vie et leur faire confiance dans leurs capacités d'innovations : selon une étude du *Lancet* publiée en 2021, plus d'un tiers des 16-25 ans hésite à faire des enfants au regard de l'amplification des catastrophes environnementales.

Or la planète qui deviendrait le cimetière du vivant, dont l'humanité fait partie, c'est notre avenir qui devient le cimetière de nos rêves. Et une jeunesse qui ne rêve plus, qui ne se projette plus dans son futur avec confiance et enthousiasme, c'est une société qui meurt de ressentiment et fait exploser sa colère.

Par ailleurs, le GIEC, dans le dernier volet de son 6ème rapport, précise que « *l'avantage économique mondial de limiter le réchauffement à 2°C dépasserait le coût de l'atténuation dans la plupart des publications évaluées* ».

En d'autres termes, nous avons « plus d'intérêt » économiquement, à investir dans la transition écologique, plutôt que de ne rien faire et de laisser venir. Selon une étude réalisée par l'Institute for Policy Integrity de l'université de New York auprès de 738 économistes, le coût de l'inaction climatique pourrait être, à l'échelle mondiale, de 1 700 milliards de dollars par an d'ici à 2025.

En France, la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) a conduit une vaste étude en 2021, sous la houlette des cabinets Utopies et Carbone 4, avec l'Observatoire français des conjonctures économiques (OFCE), afin d'estimer le coût de la transition écologique pour le secteur de la construction [4]. Deux scénarios ont été envisagés : la sobriété et une stratégie technophile. Dans les deux cas, les coûts d'investissements sont élevés et ne pourront s'envisager dans une perspective globale : 16,2 milliards d'euros par an pour le scénario de sobriété, soit 486 milliards d'euros d'ici 2050. Pour le scénario technophile, le coût est estimé à 29,9 milliards d'euros par an, 897 milliards d'euros d'ici 2050.

La stratégie de la sobriété s'impose dès lors aussi comme la stratégie la plus économiquement viable.

2. Sobriété et construction

Comment dès lors rendre *désirable* cette stratégie de sobriété, au-delà de sa connotation culturelle, et l'appliquer au secteur de la construction, quand par définition même, l'acte de bâtir, modifie l'équilibre des éco-systèmes pré-existants, et demande de recourir à des ressources ? Quand nos infrastructures sont conçues et calculées pour répondre à certaines sollicitations et usages définis alors que les perspectives de mutations de nos climats et de nos usages sont encore incertains ? Quand l'usage de nos bâtiment continue à avoir un impact sur nos éco-systèmes et demande encore plus d'énergie pour être opérationnel ?

Quoi qu'il en soit, la Belgique est de toute façon soumise à un objectif de réduction de ses émissions de -15% en 2020 par rapport à 2005 dans les secteurs dits "non-ETS" (transport, bâtiments, agriculture, déchets), conformément à la décision européenne sur le partage de l'effort (-10% pour la moyenne des 28 États Membres) [5]. Il n'est dès lors plus temps de se poser la question de l'opportunité de cette transition mais bien de comment la mener à bon port.

Les pistes de mutation du secteur de la construction sont bien connues et passent par différents leviers, tant pour les utilisateurs, que pour les entreprises concernées :

- Adoption de la directive 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments [6] visant à poursuivre l'amélioration de la performance énergétique et du confort d'usage, tout en diminuant l'impact carbone.
- Prise en compte de l'ensemble des émissions du bâtiment sur son cycle de vie, grâce à des outils d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments, comme TOTEM [7].

Mais si ces deux grands objectifs semblent aisés à comprendre, leur mise en application et l'évaluation de leurs effets, ne sont cependant pas aussi évidents.

Examinons quelques chiffres relatifs aux bâtiments regroupant les logements des ménages et les infrastructures du secteur tertiaire (bureaux, commerces, hôpitaux...). Pour le secteur de la construction, il y a lieu de distinguer l'activité même de bâtir, qui est souvent reprise dans les activités industrielles, de l'usage que l'on peut faire des infrastructures, dont le chauffage est la principale source d'émission de GES et la principale source de demande énergétique.

Part des différents secteurs dans les émissions totales en 2020 (%)

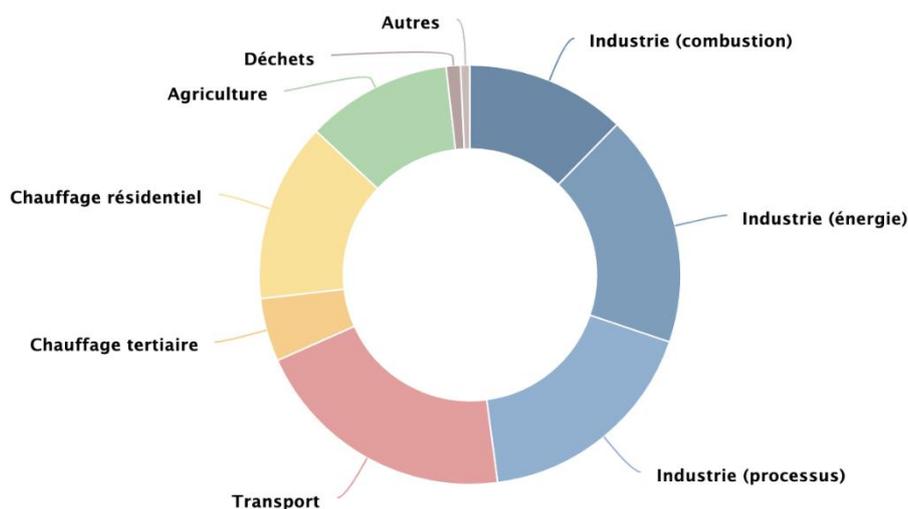


Figure 1 – Part des différents secteurs dans les émissions totales [8]

En 2018, en Wallonie, la consommation énergétique des ménages s'élevait à 49 TWh (39 % de la consommation finale), avec un niveau en légère baisse par rapport à 2005 (- 2 %). On peut estimer que les mesures relatives à la PEB sont à l'origine de cette baisse, qui reste cependant faible, au vu de la vétusté du parc immobilier wallon, comme nous le verrons plus loin.

Selon cette même étude, un ménage wallon consommait en moyenne 22 MWh d'énergie dans son logement, soit 12 % de plus qu'un ménage flamand. La consommation moyenne des logements wallons était globalement en baisse entre 1990 et 2010, depuis lors elle semble se stabiliser. Or, le mix énergétique des logements wallons est encore largement dépendant des énergies fossiles, les deux types d'énergie les plus utilisés étant le mazout (46 % en 2018) et le gaz naturel (25 %).

Et ne nous y trompons pas : les besoins en chaud sont encore à l'heure actuelle les plus importants. Mais l'évolution des températures, risque de faire accroître les besoins en froid, principalement pour les bâtiments tertiaires et c'est déjà ce que l'on observe à l'heure actuelle.

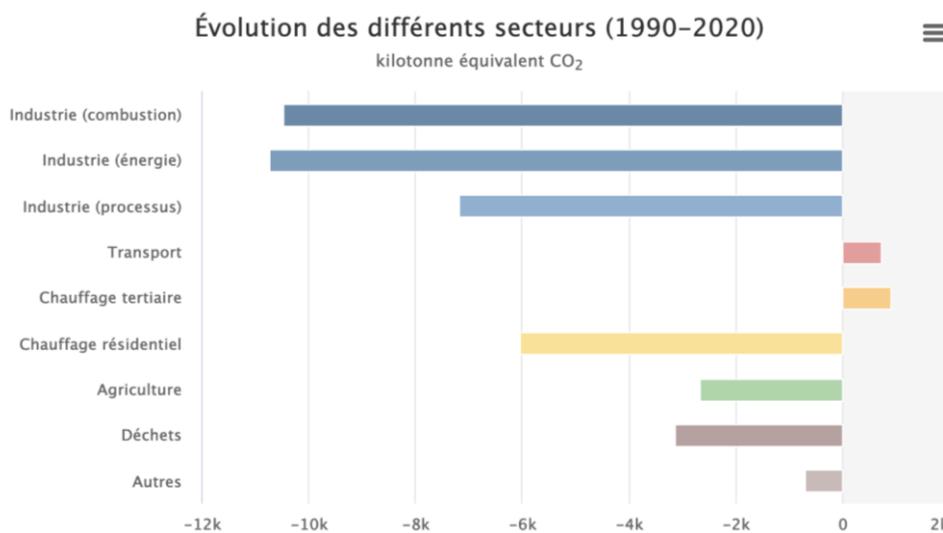


Figure 2 – Evolution des émissions par secteur en Belgique [9]

3. Urbanisation, typologie et rénovation

Mais se focaliser uniquement sur la construction et la réduction des besoins de chauffage (ou de froid), principalement issus d'énergie fossile, est une réponse partielle à la problématique : la gestion du territoire et son urbanisation peuvent nous apporter aussi des solutions.

En 2020, la superficie utilisée par les ménages wallons pour se loger (annexes comprises : garages, cours, jardins...) s'élevait à 6,5 % du territoire, soit 1 098 km². Depuis 2000, cette superficie a augmenté de 22 %, ce qui est plus que l'augmentation proportionnelle de la population wallonne sur la même période et plus que la hausse du nombre de ménages [10]. Chaque ménage wallon a donc consommé en moyenne en 2020 plus de surface au sol pour se loger (690 m²/ménage) que ce qu'il consommait en 2000 (649 m²/ménage). L'expansion du résidentiel est la cause première du phénomène d'artificialisation en Wallonie, puisqu'elle compte pour 71 % du total des terrains qui ont été artificialisés entre 2000 et 2020.

Ainsi pour inverser la tendance, il y aurait lieu d'envisager des prix attractifs à la réutilisation des terrains artificialisés et à la rénovation dans son ensemble, au-delà même de la mise en place d'une politique de planification territoriale plus résiliente (impactant les besoins en infrastructures et réseaux).

En outre, la Wallonie comporte environ 15% d'appartements, 30% de maisons mi-toyennes, et 33% de maisons 4 façades. Ayant moins de surface de déperdition, à

niveau d'isolation de paroi (toit, murs...) égal, un appartement situé dans un ensemble d'immeubles aura une meilleure performance énergétique et sera mieux classé que tous les autres types de logement.

Enfin, la vétusté du parc immobilier wallon nous invite aussi à réfléchir sur la répartition des actes de construction par rapport à des démarche de rénovation : environ un tiers des logements datent d'avant 1921 et 80% datent d'avant 1991 (première réglementation thermique en 1985 et seconde en 1996). On estime qu'à ce jour, environ 60% des logements ne possèdent toujours pas de murs isolés et seulement 18% ont une isolation dans la dalle de sol. Par contre 55% ont une toiture isolée et 80% des logements wallons sont équipés de doubles vitrages (mais seulement 10% sont équipés de doubles vitrage à haute performance).

C'est pourquoi agir sur le bâti existant nous permettrait de réduire de manière significative nos émissions de GES. Or actuellement, le taux de rénovation est très faible en Wallonie (à peine 1%). A cette vitesse-là, les objectifs ne pourraient pas être atteints, car pour parvenir au label A en moyenne, il faudrait rénover presque tous les logements d'ici à 2050. Comme cela représente une période d'à peine plus de 30 ans, la fraction du total de logements à rénover chaque année est d'environ 3% [11].

En France, on estime que la mise en place de travaux de rénovation incluant l'isolation des murs et le remplacement des chauffage fossile par une énergie bas carbone permettrait de contribuer à hauteur de 30% de l'atteinte des objectifs européens pour 2030.

La Wallonie s'investit aussi dans cette stratégie et nombre d'acteurs du domaine sont déjà impliqués dans cette démarche : le projet RENO+ [12], porté par Buildwise (anciennement CST) en partenariat avec la CCW et le Pôle Greenwin, vise à développer une nouvelle approche de la rénovation en Wallonie, avec un focus sur le bâtiment résidentiel privé :

1. Accroître la demande de rénovation
2. Structurer l'offre, en y intégrant les incitants fiscaux et légaux
3. Faciliter l'exécution

Le terme de cette recherche-action est en 2023 et on ne peut qu'espérer qu'elle pourra porter ses fruits.

4. Eco-conception

Nous avons vu que la démarche de sobriété pouvait s'appliquer à :

- L'efficacité énergétique des bâtiments,
- L'usage raisonné du territoire et des typologie de bâtiments,
- La massification de la rénovation

Mais que ce soit dans une stratégie de construction ou de rénovation, réfléchir sur le choix d'un matériaux de construction s'inscrit aussi dans cette démarche possible vers plus de sobriété.

Ainsi, privilégier le réemploi des matériaux ou choisir des matériaux à faible impact environnemental, ou biosourcés, ne peut que s'inscrire dans cette démarche de sobriété [13]. Ce développement de nouveaux matériaux est une réelle opportunité pour réindustrialiser nos régions et favoriser les circuits courts.

La CCW (Confédération Wallonne de la Construction) a d'ailleurs dernièrement rédigé un document à ce sujet, où se retrouve une cartographie des industries productrices de matériaux bio-sourcés.



Figure 3 – Cartographie des principaux producteurs et distributeurs d'isolants biosourcés belges [14]

Et pour visibiliser cela de manière plus importante auprès du grand public, un premier label, « Produit biosourcés », donnant également accès à une surprime de 25% pour les travaux d'isolation, a dernièrement vu le jour en Wallonie, à l'initiative du cluster écoconstruction [15].

Au-delà de l'intérêt environnemental que l'on pourrait avoir à choisir des filières de productions bio-sourcées (disponibilité de la ressource, réduction du bilan carbone,

production locale), l'usage de ce type de matériaux apporte un confort indéniable en terme d'acoustique (amortissement des bruits aériens), d'humidité intérieure (régulation naturelle), mais aussi de risque de surchauffe (déphasage plus important). Ces avantages pourraient faire l'objet d'un article en soi [16].

Le groupe Bouygues, pourtant pionnier de la construction en béton, a bien compris cette urgence d'évoluer vers une construction plus soucieuse de ses matériaux de construction. Bouygues Bâtiment France, vient dans cette perspective, de lancer l'initiative WeWood, qui vise à résilier 30% de ses constructions, en bois, d'ici 2030.

Au-delà d'une décision stratégique impérieuse, ce virement d'activité implique une révision des processus, des formations pour les équipes internes, de nouvelles filières de production.

Un premier chantier, conçu par GBL Architectes, dans les Hauts-de-France, s'inscrit déjà dans cette perspective : le nouveau siège régional de Dalkia, filiale d'EDF spécialisée dans les services énergétiques, s'étendra sur 7.815 m², avec 2.500 m² de murs en ossature bois, 6.200 m² de planchers CLT, 280 m³ de poutres en lamellé-collé. Le bois choisi est essentiellement de variété Épicéa, car il se renouvelle assez vite, ne présente peu de maladies tout en se trouvant assez facilement en Europe [17]. Ce nouveau bâtiment vise les certifications BBCA niveau standard [18] et BREEAM Very good [19].

5. Quelques mots pour conclure

Avant de terminer cet édit, je souhaite attirer encore l'attention sur les travaux de Edward T. Hall (1914-2009), anthropologue américain, qui nous parle de la « dimension cachée » de nos sociétés et de l'utilisation de nos territoires. Cette dimension cachée, c'est celle du territoire de tout être vivant, animal ou humain, et de l'espace nécessaire à son équilibre. On pourrait dire aujourd'hui en quelque sorte, son empreinte écologique. Or, chez l'homme, cette dimension n'est pas que physique, elle est aussi culturelle. Chaque civilisation a en effet sa manière de concevoir les déplacements du corps, l'agencement des maisons, les frontières de l'intimité.

Les travaux d'Icomos, et plus particulièrement de la Convention de Nara [20] sur l'authenticité du patrimoine illustrent bien que les interprétations sur la transmission de notre patrimoine bâti peuvent être différentes selon nos cultures.

A l'heure où certains déplacements de population sont envisagés suite aux modifications climatiques, les études d'Edward T. Hall nous questionnent sur la connaissance que nous pouvons avoir d'autrui et sur le danger que nous courons, dans nos

cités modernes, à ignorer cette « dimension cachée » : peut-être est-ce moins le surpeuplement qui nous menace que la perte des identités relatives de nos infrastructures et du sens de celles-ci.

Le maintien de notre humanité est indissociable de la préservation de notre environnement. Ce changement de perspective, cette opportunité de voir **notre environnement comme un partenaire et non plus comme une ressource ou un simple substrat destiné à recevoir nos constructions**, nous pousse à innover pour concevoir et construire des ouvrages toujours plus performants et responsables.

Dès lors, pour une construction raisonnée et raisonnable, pour un futur utilisateur, les questions à se poser sont bien les suivantes et n'ont rien de vraiment étonnant :

- Où s'installer ?
- Rénover ou construire du neuf ?
- Avec quels matériaux ?
- De quelle surface/volume avons-nous réellement besoin ?
- Comment maximiser les gains ?
- Comment minimiser les pertes ?
- quel(s) moyen(s) de production d'énergie choisir ?

Et oser se dire que, peut-être, les réponses peuvent être différentes de celles d'hier.

Alors, la demande évoluant, nos entreprises pourront produire des matériaux performants et à faible énergie grise. Ils pourront travailler dans des conditions plus respectueuses de leur travailleurs et œuvreront au bien-être des futurs utilisateurs.

Il ne s'agit en rien de contraintes mais bien de réelles avancées innovantes et enthousiasmantes, sur des questions que l'humanité s'est toujours posée pour établir ses activités.

Plus que jamais, « **Less is more** » [21].

Ir-architecte Anne-Michèle JANSSENS
Directrice de HELMo Gramme
Présidente Cluster Eco-Construction

Sources

- [1] Adresse URL : <https://climat.be/changements-climatiques/changements-observees/rapports-du-giec/2022-attenuation-des-changements-climatiques>
- [2] Adresse URL : <http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas>
- [3] STEPHANT , Aurore, « Ruée minière au XX1è Siècle : jusqu’où les limites seront-elles repoussées ? », Conférence USI, 12/07/2022.
- [4] Adresse URL : <https://www.carbone4.com/publication-infrastructures-france>
- [5] Adresse URL : <https://climat.be/politique-climatique/europeenne/partage-de-l-effort>
- [6] Adresse URL : https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency_en
- [7] Adresse URL : <https://developpementdurable.wallonie.be/construction/totem>
- [8] Adresse URL : <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>
- [9] Adresse URL : <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>
- [10] Adresse URL : <http://etat.environnement.wallonie.be/home/Infographies/menages.html>
- [11] Adresse URL : <https://plateforme-wallonne-giec.be/Lettre10.pdf>
- [12] Adresse URL : <https://renoplus.org/>
- [13] Adresse URL : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/guide-de-la-renovation-energetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-3-impact-environnemental.pdf?ID=42041>
- [14] Adresse URL : <https://ecobuild.brussels/wp-content/uploads/2022/07/construction-05-2022-lr-1-21-36.pdf>
- [15] Adresse URL : <https://www.wallonie.be/fr/actualites/le-label-produit-biosource-debarque-en-wallonie>
- [16] Adresse URL : <https://www.batiment-biosource.fr>
- [17] Adresse URL : <http://www.bouygues-batiment-nord-est.fr/actualites/bouygues-batiment-nord-est-accelere-sur-la-construction-bois-et-reinvente-ses-process>
- [18] Adresse URL : <https://www.batimentbascarbonate.org/label-bbca>
- [19] Adresse URL : <https://bregroup.com/products/breeam>
- [20] Adresse URL : <https://www.icomos.org/fr/notre-reseau/comites-scientifiques-internationaux/liste-des-comites-scientifiques-internationaux/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/186-document-de-nara-sur-lauthenticite>
- [21] BROWING Robert, *Andrea del Sarto*, poème, 19è siècle (repris par Ludwig Mies Van der Rohe dans les années 30).

TABLE DES MATIERES

Éditorial : Transition écologie : quel(s) impact(s) sur nos bâtiments ? <i>par A.-M. JANSSEN</i>	
Electron beam tuning simulator in the Rhodotron: improvement and model validation, <i>par G. DEMUYSER, M. DHEN</i>	1
Sur la modélisation des coefficients d'échange de chaleur dans le cas des échangeurs de chaleur à particules, <i>par C. COLLEE, A. GUILLICK, V. KELNER, M. ROUZES</i>	7
Amélioration du système aéraulique du Glutton Collect, <i>par M. DE VILLE DE GOYET</i>	13
Conception d'un système push-pull pour l'évacuation des émission gazeuses d'une hotte de vulcanisation, <i>par M. SERVAIS, V. HANUS</i>	19
Etude coût/impact environnemental d'une poutre de gros œuvre, <i>par E. VAN SPROLANT</i>	25
Les fluides frigorigènes pionniers reconstruisent l'avenir de la réfrigération, <i>par A. BORREY, D. KÖTTGEN</i>	31
Évaluation des propriétés bactériostatiques d'un extrait de houblon enrichi en acide bêta dans le cadre d'un usage cosmétique, <i>par C. SERGENT, L. DURIEUX, C. SAUSSEZ, V. JERKOVIC</i>	39
Measuring and Optimizing Video Player Streaming Profile Algorithm, <i>par G. BOUILLON, D. BOSCHLOOS, P. DEKIMPE</i>	47
Développement d'un outil permettant l'analyse et la vérification de récipients sous pression selon le code ASME, le code CODAP et la norme EN 13445, <i>par M. LOUIS, D. MARECHAL, J. MARRA</i>	53
Développement de nouveaux catalyseurs pour la synthèse de polyéthylène, <i>par J. BARONE, V. CIRRIEZ</i>	59

Techno-Economic Feasibility Study of a DC Distribution Grid Supplying a Hydrogen Production Plant, <i>par A. STYPA, A. BOUCQUEY</i>	63
---	----

<u>LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES</u>	69
--	----

1. Automatique
2. Chimie
3. Construction
4. Électricité
5. Électronique
6. Environnement
7. Géomatique
8. Gestion
9. Informatique
10. Mathématiques appliquées
11. Mécanique
12. Mécanique des fluides et thermodynamique
13. Physique

<u>Remerciements</u>	96
----------------------	----

Electron beam tuning simulator in the Rhodotron: improvement and model validation

Ing. G. DEMUYSER – Dr. M. DHEN
ECAM – Bruxelles

1. Introduction

The Rhodotron is a particle accelerator developed by Ion Beam Application (IBA) and used in the industry to produce high energy electron beams (2 to 10 MeV). These electrons can for example be used for sterilization and ionization applications.

To reach such high energies, the Rhodotron is based around the re-circulation of electrons inside a single cavity. These electrons are emitted by the electron source and sent inside the cavity where they will be accelerated. Once they reach the opposite side of the cavity, their trajectory is modified by the first deflection magnet which bends the beam back inside the machine. This process is then repeated as seen on Figure 1. During each crossing, the electrons gain approximately 1 MeV from the electric field created inside the cavity. The final energy then depends on the number of cavity crossings.

It is therefore a complex machine which requires careful tuning during both new installations and maintenances. In particular, the path of the electron beam needs some precise adjustments.

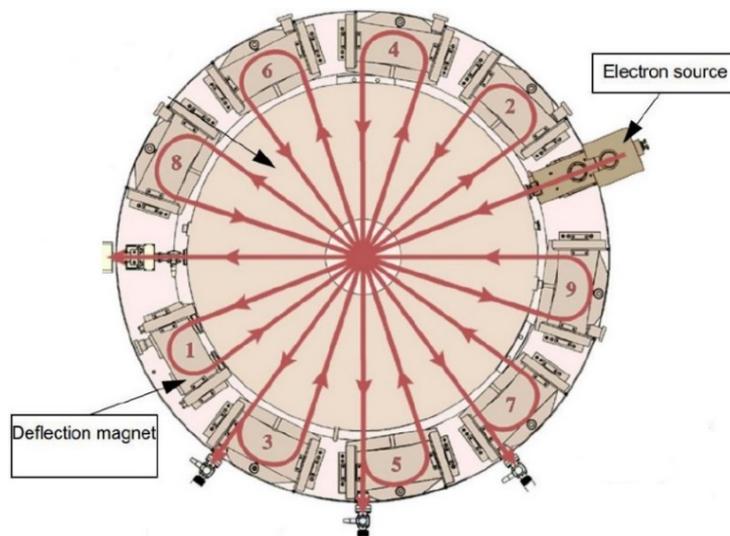


Figure 1: Schematic view of a 10 MeV Rhodotron.

Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°37, 2023
A more extensive version of this article is online at the URL:
<http://www.isilf.be/>

2. Objectives

The purpose of this work was to create a tool simulating the path taken by the electrons inside the Rhodotron. This simulation has been designed as a training tool for the field service engineers and the clients to provides a tuning experience similar to real-world usage. At the same time, it can be used to visualize the inner phenomena of the accelerator to gain a better understanding of the machine.

To replicate the actual tuning of a Rhodotron, different real components are used in the laboratory. Actual power supplies for each magnet are connected to a Programmable Logic Controller (PLC) which then provides the simulation with all the necessary setpoints and feedbacks. This gives the user the feeling of using an actual Rhodotron. A choice has been made to develop the simulation tool in Excel for several reasons: ease of sharing, visualization of the computation and the simple interfacing with the PLC.

3. Physics Modeled

The electron beam cannot be considered as a singular electron traveling inside the Rhodotron. It is in fact a bunch of electrons that are accelerated, as can be seen on Figure 2a. In order to compute the shape of this bunch some reasonable assumptions were made. For the sake of simplicity, we only considered transversal motion of the particles, independently of the longitudinal one. Secondly, we only considered the position of the four most extreme electrons in the x-y plane, i.e. the plane perpendicular to the ideal trajectory of the electrons inside the machine. This allowed us to compute only the movement of these four extreme electrons (x_{min} , x_{max} , y_{min} and y_{max}) and recreate the ellipse around them as seen in Figure 2b.

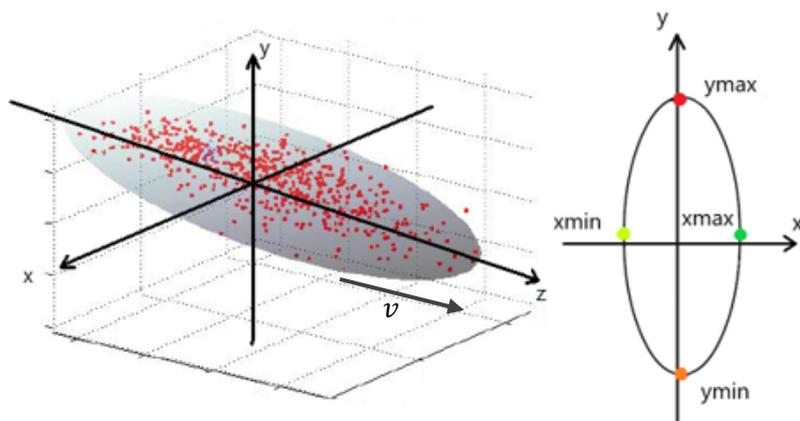


Figure 2a (left): Representation of a bunch of electrons.

Figure 2b (right): Position of the four extreme electrons in the transversal plane.

The position of each extreme electron is altered as it passes through the different magnets. This effect depends on the magnetic rigidity of the particles which varies with the energy accumulated. Additionally, some divergent effects are present due to the inherent properties of the electron source and the particles themselves.

Most of the work consisted therefore in identifying which physical aspects were responsible for the different behaviors inside the accelerator. At the same time, it was necessary to simplify the physics models as much as possible to allow for the tool to run smoothly. Below, we show how we reconstructed the transversal shape of the electron beam as it travels in the Rhodotron. Let's mention that since the velocity v of the electrons is quickly of the order of the speed light c , relativistic effects have been taken into account.

3.1. Electron Source

A schematic view of the electron source is shown in Figure 3. Initially, the electrons are emitted by the cathode with a given offset as well as an initial divergence. The offset is a simple mechanical error which induces a deviation to every particle in the transversal plane. The initial divergence depends on the current $I_{cathode}$ in the cathode as well as the voltage V_{e-src} of the puller. In order to collimate the beam, the electron source includes two focusing magnets (F1 and F2), which can change the divergence of the beam the same way a lens does in optics, and two steering magnets (S1 and S2), which can change the direction of the beam.

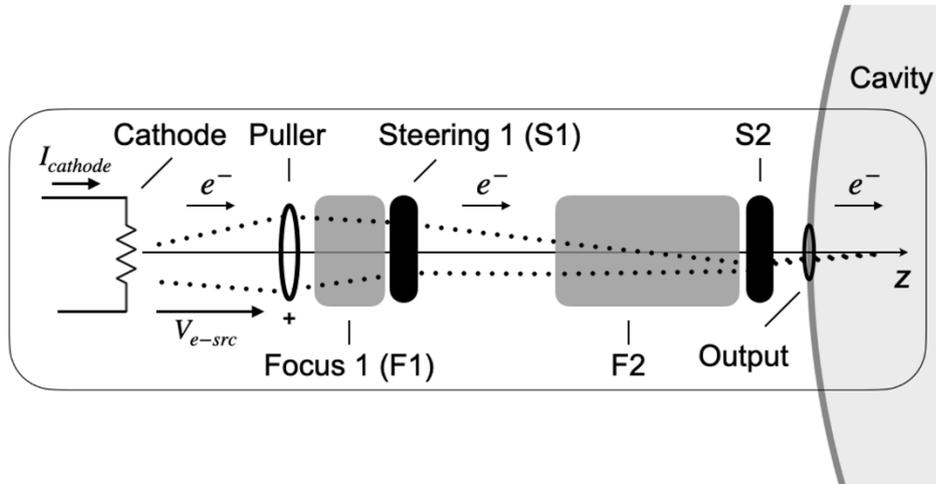


Figure 3 : Cross-sectional view of the electron source.

3.2. Deflection Magnets

Deflection magnets are dipole magnets that are used to redirect the beam inside the cavity (see Figure 1). This effect is implemented by computing both the exact position of the electron when entering the magnetic field and its radius of curvature " ρ " inside the magnetic field. Together these allow us to compute the position of the center of the circle of gyration and thus the exit point and angle of the electron as seen on Figure 4.

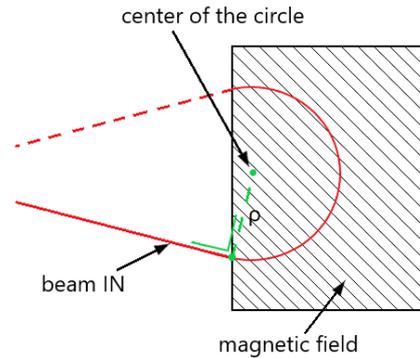


Figure 4 : Effect of a deflection magnet on an electron.

3.3. Compensation Magnet

During their travel inside the cavity of the Rhodotron, the trajectory of the electrons could be altered by the magnetic fields B_{M_i} of the 9 deflection magnets positioned around the cavity. For this reason, we use a compensation magnet B_{comp} to cancel it out. This field must be adjusted by the user. The effect of the resulting total magnetic field has been taken into account in the simulation.

3.4. Inherent Properties of the Beam

As the electrons are charged particles, they exert a certain force on each other. This causes the beam to diverge during the entirety of its travel as seen in Figure 5. This effect has been considered as well in the simulation tool.

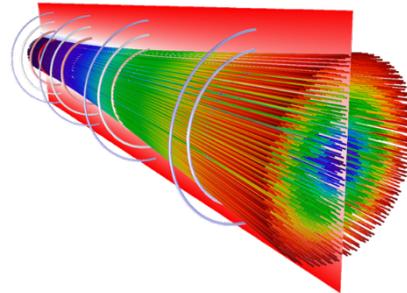


Figure 5 : Diverging beam of electrons.

4. Interface of the Simulator

Once we realized the mathematical reconstruction of the beam, we needed to create a user interface which had to be simple, complete, modular and useful for the understanding of the machine. Figure 6 shows different visualizations available in the simulation tool. In order to give a physical feeling of what is happening, the user has a complete view of the beam path inside the Rhodotron.

For example, the full path of the two most extreme electrons in the horizontal plane, as illustrated in Figure 6b. This view is never physically observable and is then used to better visualize the inner working of the accelerator. Furthermore, the user can also see the cross section of the beam at certain spots, as illustrated in Figure 6a. This is useful since it represents what is actually observed during the tuning of the machine when viewing the beam through an alumina¹. In addition, some data such as the percentage of beam transmitted and the emitted radiations are also computed and displayed. Finally, let's mention that the user can change the type of energy he is working with (from a 2 MeV to a 10 MeV Rhodotron).

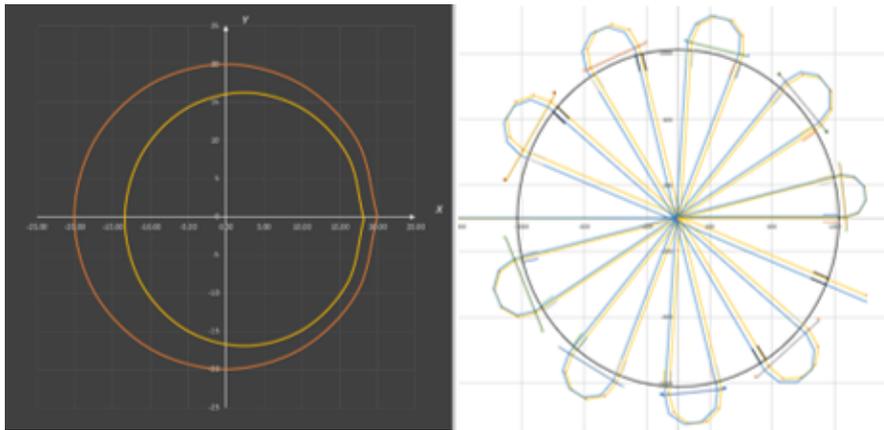


Figure 6a (left): Cross section of the beam in yellow and aperture in orange.

Figure 6b (right): Complete path of two extreme electrons in the horizontal plane.

5. Conclusion

Keeping in mind that the simulation tool was never meant to be a physics model, it shows promising results. Many improvements can still be made but it is important not to bring too much complexity to this simulation which aims at being a simple learning tool.

As of now, the simulation has only been validated using the feedback of experienced people at IBA. Nevertheless, the tool has already been used with clients and employees to serve as a first experience in beam tuning. In addition, the visual representations help understanding the inner working of the machine. Beyond that, it constitutes a first step towards a complete reproduction of a Rhodotron installation in Louvain-la-Neuve.

¹ An alumina or aluminium oxide sheet is placed in the path of the beam. When passing through the sheet, the electrons create a glowing effect which allows us to visualize the shape and position of the beam.

Sur la modélisation des coefficients d'échange de chaleur dans le cas des échangeurs de chaleur à particules

Ing. C. COLLEE – Ir. A. GUILLICK – Ir. V. KELNER – Dr. M. ROUZES
HELMo-Gramme – Liège

1. Introduction

L'objet de ce travail étant confidentiel, certains éléments ne sont volontairement pas détaillés.

La consommation d'électricité n'a cessé d'augmenter ces dernières années. Pour répondre à cette demande croissante, des nouvelles manières de penser la production d'énergie ont émergé et ont été mises en place dès les années 2000. Parmi ces nouvelles façons de produire de l'électricité, la production d'énergie solaire occupe une place de choix et continue à se développer depuis lors. Des centrales solaires sont installées dans des régions du monde où l'ensoleillement le permet. John Cockerill Solar est d'ailleurs leader mondial au niveau de la puissance installée, à ce jour.

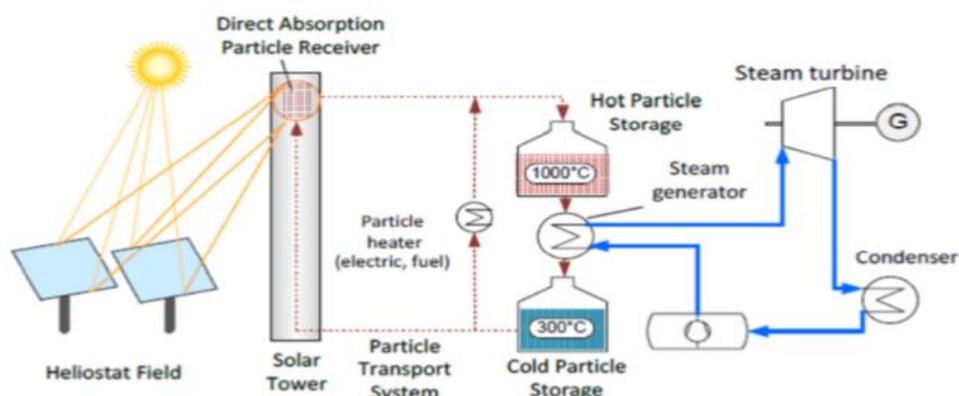


Figure 1 : – Schéma de principe d'une centrale solaire à particules solide et vapeur. [5]

En règle générale, les centrales solaires concentrent les rayons solaires en un point à l'aide d'héliostats, des miroirs orientables en fonction de l'inclinaison des rayons du soleil, dans le but de chauffer un fluide caloporteur. Celui-ci va ensuite passer dans

un échangeur de chaleur et transmettre sa chaleur à un fluide de travail. Ce fluide de travail sera ensuite turbiné afin de produire de l'électricité. En Figure 1, une centrale solaire à rayons concentrés utilisant la technologie des particules est décrite.

1.1. Les échangeurs de chaleur à particules

De manière générale, un échangeur de chaleur est un système qui permet de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre. Pour un échangeur de chaleur à particules, il s'agit d'une coque qui renferme un faisceau de tubes autour desquels des particules solides possédant une très haute température tombent par gravité, comme le montre la Figure 2.

1.2. Une solution analytique approchée selon Niegsch

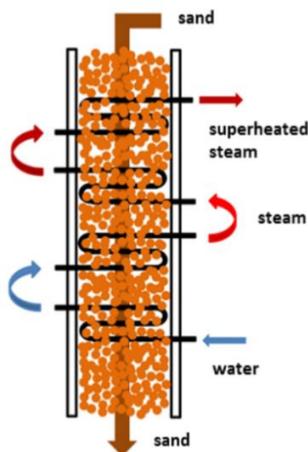


Figure 2 : Schéma de principe d'un échangeur de chaleur à particules dans le cas de vapeur d'eau comme fluide de travail. [4]

Une résolution analytique des champs de vitesse des particules autour des tubes a été proposée par Niegsch [1] dans les années 90 et celle-ci reste encore une référence dans le domaine de la modélisation des lits de particules compacts. Cette solution décrit non seulement les champs de vitesse des particules autour des tubes mais aussi les résistances thermiques des particules à proximité des tubes.

2.1.1 Les champs de vitesse

Niegsch se base sur plusieurs principes pour élaborer une seule équation permettant d'évaluer le champ de vitesse autour d'un tube. En supposant que l'écoulement se comporte comme un fluide newtonien¹, il estime que le tenseur des contraintes est directement proportionnel au tenseur des déformations via la viscosité.

De plus, dans cette modélisation, Niegsch prend en compte les particularités des écoulements de particules autour de structure tubulaire en découpant le tube en 3 zones distinctes (visibles à la Figure 3) :

- Secteur I ou la zone stagnante: en tombant à travers l'échangeur de chaleur, les particules s'accumulent sur la partie supérieure du tube.

¹ Cette hypothèse de fluide newtonien a été discutée depuis la publication de cet article et est, aujourd'hui, une des faiblesses de cette modélisation puisque le lit de particules ne se comporte pas comme un fluide newtonien à cause de sa nature biphasique : solide-gaz.

- Secteur II ou l'entre-deux: les particules sont directement en contact avec le tube.
- Secteur III ou la zone vide: les particules tombent en longeant le tube mais ne collent pas au tube.

La relation entre les contraintes et les déformations, découlant ici de l'hypothèse de fluide newtonien, permet de quantifier les changements de direction des vecteurs vitesses. La théorie donne des résultats plausibles, avec une vitesse maximale au niveau de la réduction maximale de section entre deux tubes ainsi que des réductions de vitesses près des zones mortes.

2.1.2 Les résistances thermiques à proximité des tubes

Niegsch définit les résistances thermiques à proximité du tube en prenant soin de bien séparer les contributions de chaque élément, comme décrit à la Figure 3:

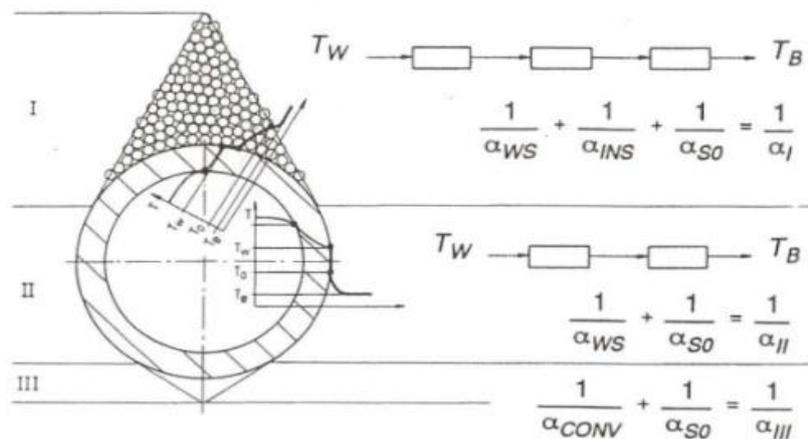


Figure 3 : – Schématique des résistances thermiques par secteur. [1]

- *Secteur I* : Trois résistances thermiques en série avec la résistance thermique due au contact des particules avec le tube, la résistance thermique de la couche de particules qui isole le tube et la résistance thermique du lit de particules à proximité des tubes.
- *Secteur II* : Deux résistances thermiques en série avec la résistance thermique due au contact des particules avec la paroi du tube et la résistance thermique du lit de particules à proximité des tubes.
- *Secteur III* : Deux résistances thermiques en série avec la résistance thermique due à la zone vide se trouvant sous le tube et la résistance thermique du lit de particules à proximité des tubes.

1.3. Les résistances thermiques

Niegsch a défini les effets des résistances thermiques à proximité du tube mais l'étude des coefficients de transfert de chaleur ne se limite pas à cette zone. Il est aussi nécessaire de modéliser le reste des contributions du lit de particules plus éloigné du tube, du fluide passant dans les tubes, de la paroi du tube, etc. Des chemins de résistance différents sont implémentés pour les différents secteurs en fonction de leurs particularités respectives.

La plupart des résistances thermiques ont été déduites de corrélations déjà établies dans la littérature scientifique, parmi lesquelles nous pouvons citer la théorie de Schlünder [2] pour l'impact du lit de particules sur le transfert de chaleur, la corrélation de Gnielinski [3] exprimant la conductivité thermique du fluide dans les tubes, etc.

2. Le recalage de modèle

Toute modélisation comporte ses failles et ses limites. Pour pallier les limites de la modélisation présentée dans le cadre de ce travail, des coefficients de correction ont été ajoutés. Les coefficients serviront à calibrer le modèle numérique afin de se rapprocher le plus possible de la réalité physique.

Plusieurs coefficients ont donc été ajoutés aux équations qui gouvernent l'échange de chaleur. Certains coefficients sont directement tirés de la littérature scientifique grâce à la géométrie spécifique de l'échangeur de chaleur tandis que les autres sont ajustés grâce à un algorithme d'optimisation numérique basé sur la génétique.

2.1. MOGA, un algorithme d'optimisation multi-objectif basé sur la génétique

L'optimisation numérique est l'art du compromis entre le monde idéal et le monde réel. Dans un monde idéal, tous les objectifs pourraient être minimisés en même temps. Dans le monde réel, le concept de tolérance doit être introduit. Cette tolérance est le lest que nous nous autorisons à lâcher afin de trouver une solution à mi-chemin entre tous les objectifs à optimiser.

Le principe général de fonctionnement de l'algorithme MOGA suit les grandes étapes suivantes :

- L'initialisation d'une population de coefficients de correction
- Le calcul des valeurs critiques via les équations gouvernantes recalibrées avec les coefficients
- Le classement et les pénalités appliquées des solutions obtenues en fonction des tolérances acceptées

- Le tournoi où les coefficients de recalibrage les plus efficaces sont gardés
- Le croisement où les coefficients gagnants peuvent se reproduire
- La mutation d'une partie de la nouvelle population, créée lors du croisement
- La mort de la population initiale

Sur cette base, des coefficients ont été choisis pour différents cas de charge (100%, 75%, 50% et 30% du débit nominal de particules) afin de les optimiser en fonction des résultats attendus.

3. Résultats

La prédiction et la correction des coefficients d'échange de chaleur pour les particules se rapprochent des valeurs attendues. Le modèle recalibré permet de rester en-dessous des 5% d'erreur entre les valeurs calculées et les valeurs attendues pour le cas de charge 100%. Les autres cas de charge ne sont pas discutés pour respecter la confidentialité de ce travail.

4. Conclusion

Ce travail ouvre la voie à une étude plus approfondie pour l'obtention de corrélations. L'obtention de ces dernières nécessiterait une base d'essais plus fournie afin que les statistiques puissent converger et fournir des résultats dans lesquels la confiance est élevée.

5. Sources

- [1] J. NIEGSCH, D. KÖNEKE et P. WEINSPACH, *Heat transfer and flow of bulk solids in a moving bed*, *Chemical Engineering and Processing*, 1994.
- [2] E. Schlünder, *Heat transfer between packed, agitated and fluidized beds and submerged surfaces*, *Chemical Engineering Communications*, pp. 273-302, 1981.
- [3] *VDI Heat Atlas*, Springer Berlin, 2010.
- [4] M. KRÜGER, P. BARTSCH, H. POINTNER et S. ZUNFT, *Solar tower power plant using a particle-heated steam generator : Modeling and parametric study*, 2016.
- [5] A. TAZIAUX, *Étude d'un échangeur de chaleur tubulaire à lit tombant de particules appliqué à une centrale concentration solaire*, Mémoire confidentiel, HELMo, 2020.

Amélioration du système aéraulique du Glutton Collect

Ing. M. de Ville de Goyet
Ecole d'Ingénieur - HELHa Mons

1. Introduction

Depuis bientôt 30 ans, la société Glutton commercialise le Glutton Collect, un aspirateur de rue. Le Collect permet de nettoyer les rues en aspirant les déchets qui traînent comme des bouteilles, des papiers, des mégots, etc.

Au fil des années, la machine n'a cessé de subir des modifications afin de la rendre plus performante. Ce travail s'inscrit dans cette lignée. Le ventilateur de la machine, appelé « turbine », n'a que très peu évolué depuis la création de la machine.

Les courbes caractéristiques du circuit et de la turbine n'étant pas connues, l'étude du système aéraulique a commencé par la caractérisation du circuit actuel. Ces courbes étaient nécessaires pour pouvoir envisager des pistes d'amélioration. Parmi tous les éléments de la machine, deux éléments, considérés comme principaux, sont étudiés : le filtre et la turbine.

Le filtre permet que l'air rejeté par la machine soit propre, cela implique que les poussières dans l'air vont encrasser le filtre. Le filtre va s'encrasser et au fur et à mesure qu'il s'encrasse, il deviendra plus résistant au passage de l'air. Lorsque le filtre est plein de poussières, la machine n'est plus capable d'aspirer et cela signe la fin de la journée.

La turbine est l'organe moteur du circuit aéraulique. Puisque la machine fonctionne sur batterie, il est important que la turbine soit la plus performante possible tout en consommant le moins possible. Le rendement de la turbine est donc un paramètre essentiel afin de limiter la consommation d'énergie.

2. Système

Afin de bien comprendre le fonctionnement de la machine, la figure suivante reprend le chemin de l'air à travers elle.



Figure 1: Passage de l'air à travers le Glutton Collect.

Les déchets sont aspirés à travers la buse et sont portés par l'air jusque dans la poubelle située à l'arrière de la machine. L'air remonte pour passer dans le filtre, passe dans la turbine et ressort par un silencieux.

2.1. Filtre



Figure 2 : Filtre Glutton.

L'étude porte sur différents filtres, venant de deux fournisseurs distincts, le fournisseur actuel (Donaldson), et un fournisseur concurrent (IFS). Elle porte aussi sur l'état des filtres, propres, encrassés et nettoyés. Il est important d'étudier le comportement des filtres avec la poussière car un filtre qui absorbe beaucoup de poussières mais qui est à usage unique est moins intéressant qu'un filtre qui en absorbe moins mais qui est nettoyable.

Deux études ont été menées. La première a été utile par rapport à 2 points :

- 1) Le filtre IFS a démontré des performances moindres puisque pour les mêmes pertes de charge, la quantité de poussières retenues est plus faible.
- 2) Les paramètres influençant les performances du filtre ont pu être identifiés. Ces paramètres sont : le nombre de plis, la position des plis et le collage des plis.

La deuxième étude a porté sur 4 variantes du filtre IFS. Le tableau ci-dessous reprend les différences entre les filtres.

Filtre	Nombre de pli	Pli alterné	Emplacement de la colle
258 AP	258	Oui	Intérieur et extérieur
380 AP	380	Oui	Intérieur et extérieur
380 EG	380	Non	Extérieur
380 IG	380	Non	Intérieur

Les 4 filtres ont montré des performances similaires au filtre actuel de chez Donaldson. Il y a eu une belle amélioration par rapport au premier filtre IFS.

Au niveau des pertes de charge, il n'y a pas de réelle différence entre les filtres. Cependant, certains filtres ont emmagasiné plus de kilogrammes de poussières que d'autres.

Il est important de souligner que les tests ne sont pas comparables à une utilisation réelle sur le terrain. De ce fait, deux filtres ont été choisis (le 258 AP et le 380 EG) afin d'être testés sur le terrain.

2.2. Turbine

Pour commencer, il est important de connaître l'impact de la turbine sur la consommation totale de la machine. Une étude sur la consommation a permis d'estimer que la turbine représente plus de 55% de la consommation électrique globale pour une journée type, le reste est principalement pour la traction ainsi que des lampes ou des alarmes sonores. Cela confirme qu'une amélioration de la turbine pourrait avoir un impact bénéfique sur le reste de la machine telle que les batteries.

La courbe caractéristique de la turbine est nécessaire pour pouvoir la comparer à des turbines d'autres fournisseurs. La vitesse nominale de la turbine est de 3000 [RPM] mais la machine possède un mode boost qui permet d'augmenter la puissance temporairement en augmentant la vitesse à 3300 [RPM].

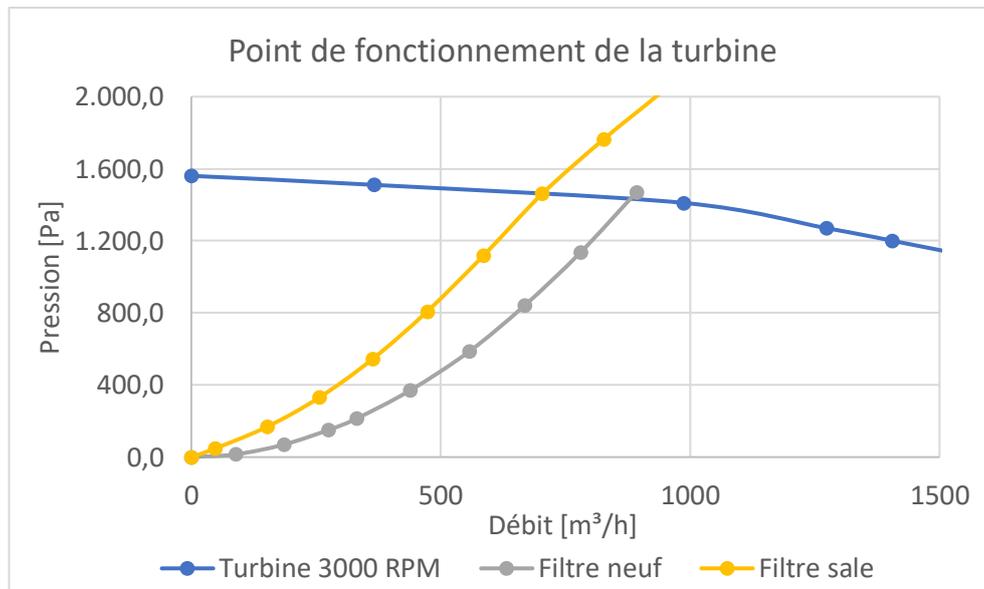


Figure 3: Zone de fonctionnement du Glutton Collect.

Le graphique ci-dessus reprend la courbe de la turbine ainsi que les 2 courbes du circuit extérieur. La zone de la courbe bleue située entre la courbe grise et jaune est donc la zone de fonctionnement nominal. Ces courbes ont été établies grâce à une chambre de test aéraulique présente dans l'entreprise.

Cette zone est importante puisqu'un certain débit est nécessaire pour aspirer les déchets. Lorsque le filtre s'encrasse, le débit diminue or, pour que le Collect fonctionne correctement il faut garder un débit le plus proche possible du débit nominal.

En plus du débit, plusieurs points d'améliorations ont pu être mis en avant grâce aux tests mais aussi avec l'avis des différents services de l'entreprise.

Ces points sont :

- 1) L'équilibrage : les roues doivent arriver équilibrées.
- 2) La courbe caractéristique (H_{man}, Q): elle doit être la plus pentue possible pour perdre le moins de débit possible lorsque le filtre s'encrasse. Cette courbe est déterminante pour les caractéristiques techniques.
- 3) Des traitements : les roues peuvent s'abimer avec la poussière et l'humidité ; un traitement pour les protéger est approprié.

Trois fournisseurs ont pu fournir des échantillons et la courbe caractéristique de ces turbines a été tracée en suivant le même mode opératoire que pour la turbine actuelle. Cela permet d'assurer la comparaison des courbes entre elles.

Deux prototypes ont démontré une vraie amélioration des performances. Non seulement elles proposaient des courbes plus raides, perte de débit moins importante, mais en plus la consommation était légèrement moindre. En somme, le rendement est meilleur.

3. Conclusion

Les tests sur les filtres n'ont pas montré d'améliorations globales mais ont permis de mettre en avant les points importants pour avoir le filtre le plus efficace possible.

Au niveau de la turbine, les tests ont montré qu'une marge d'amélioration existe. Cependant, il a été constaté que la turbine actuelle présente de bonnes performances. Les prototypes étudiés sont tout aussi bien voire légèrement meilleurs mais la différence de prix entre la turbine actuelle et les prototypes est bien trop élevée que pour justifier un changement

Ce travail a permis de donner un premier élan mais ne suffit pas à lui seul. Une piste d'amélioration possible serait d'utiliser la théorie de la similitude sur la turbine actuelle. En effet, il a été constaté que la turbine actuelle était trop grande pour son utilisation. En réduisant sa taille, elle pourrait mieux correspondre aux besoins du Collect.

Conception d'un système push-pull pour l'évacuation des émissions gazeuses d'une hotte de vulcanisation

Ing. M. SERVAIS – Dr Ir. V. HANUS
HENALLUX - Pierrard – Virton

1. Contexte

Une société possédant une presse de vulcanisation (voir figure 1) souhaite installer un système d'aspiration afin d'aspirer des émanations de gaz non toxiques mais malodorants, émises lors de la cuisson et lors de la sortie de son plateau. Comme la surface du plateau est importante (7m x 3,5m), et que l'espace disponible au-dessus du plateau est réduit, il est impossible d'adapter un système de hotte couvrant la surface. La solution d'un système push-pull est donc choisie.

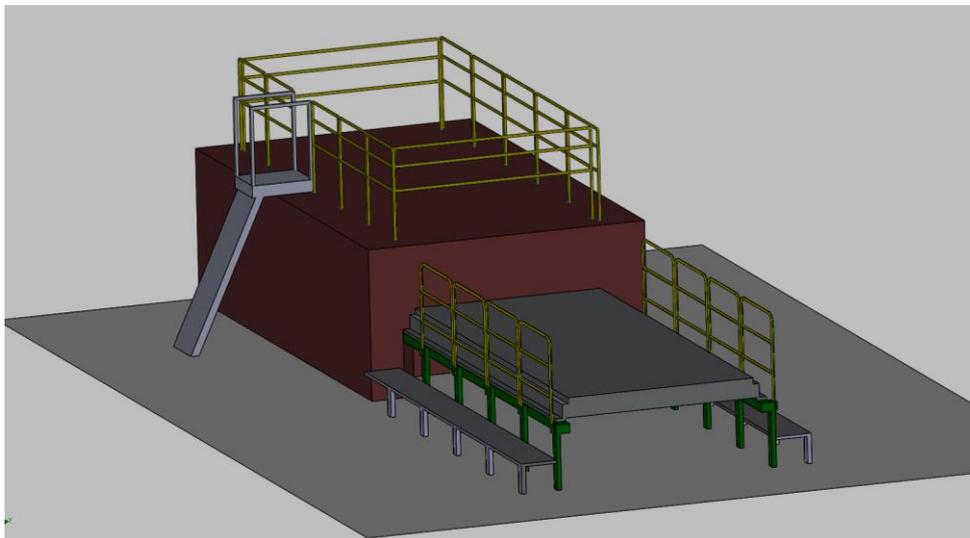


Figure 1 : Schéma de la presse, plateau sorti

1.1. Système push-pull

Le système est composé (figure 2), à une extrémité du cadre, d'une buse percée de trous (ou bouches de soufflage), poussant l'air (coté push) vers la hotte d'aspiration située au niveau du bâti (coté pull). Ce système push-pull est utilisé lorsque l'aspiration générale n'est pas envisageable (notamment pour des émissions toxiques) et permet de faire des économies énergétiques car le volume aspiré est moindre que dans le cas de l'aspiration générale.

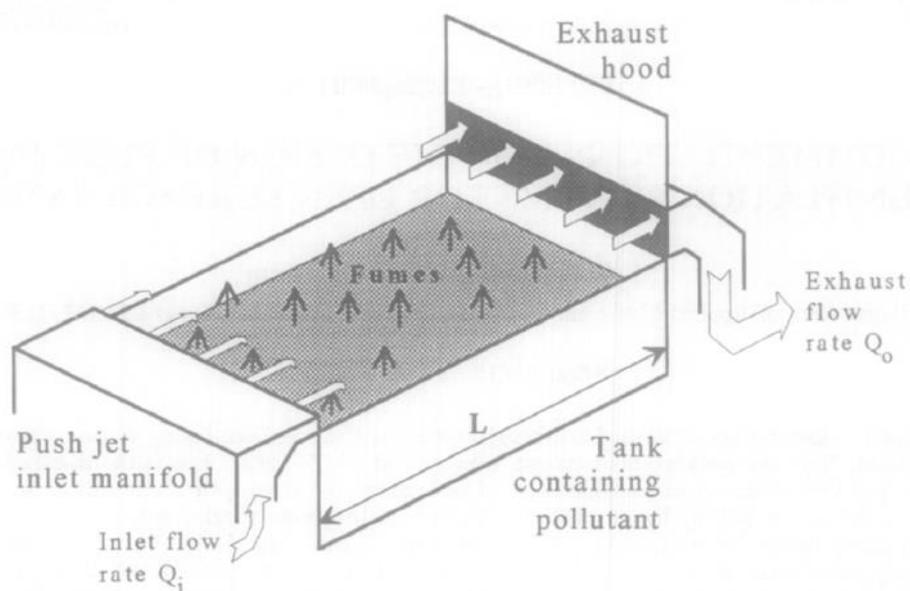


Figure 2 : Système push-pull [1]

Dans le cas présent, celui-ci utilise l'effet Coandă (figure 3) pour rester plaqué sur le cadre afin de déplacer les gaz captés vers l'aspiration. L'effet Coandă se produit lorsqu'un jet d'air est envoyé parallèlement à une surface, le faisant adhérer à celle-ci. Ce phénomène est dû à la dépression locale créée entre la surface et le jet en sortie de bouche.

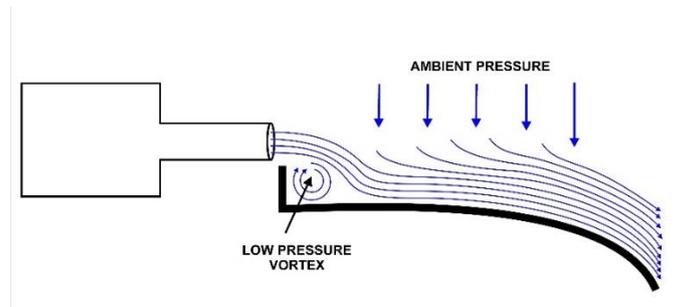


Figure 3 : Effet Coandă

2. Méthode de dimensionnement et résultats

2.1. Aspect général du flux d'air

La méthode décrite par Goodfellow et Wang [1] est utilisée pour calculer les débits d'air entrants et sortants du système. Cette méthode explique que dans un système push-pull, il est important de synchroniser la vitesse d'aspiration et de soufflage, en tenant compte de toute. De cette façon le flux pulsé, capturant les gaz s'élevant du plateau, est guidé vers l'aspiration sans créer de turbulence et la captation est maximale.

Sur la figure 4, on peut observer :

- Figure 4.a : la vitesse d'aspiration est trop faible par rapport à la vitesse de soufflage, celle-ci poussant donc l'air avec une certaine inclinaison. De plus, le gaz représentant l'air déplacé par le plateau participe lui aussi à l'élévation du flux d'air. Une partie des gaz n'est donc pas captée par l'aspiration et s'échappe du système.
- Figure 4.b : la vitesse d'aspiration est supérieure à la vitesse d'aspiration de la figure 4.a. Le point haut atteint par le flux d'air est donc déplacé plus près de l'aspiration et une bonne partie des gaz est aspirée.
- Figure 4.c : la totalité des gaz est aspirée ; cependant, il y a encore un trop gros niveau de turbulence dû à la vitesse d'entraînement du jet.
- Figure 4.d : la vitesse d'aspiration est suffisante pour permettre au flux d'avoir une trajectoire horizontale et même de profiter de l'effet Coandă.

Des situations quasi similaires apparaissent en faisant varier la vitesse de soufflage. Il faut donc choisir des vitesses adaptées de manière à être dans le cas de la figure 4.d.

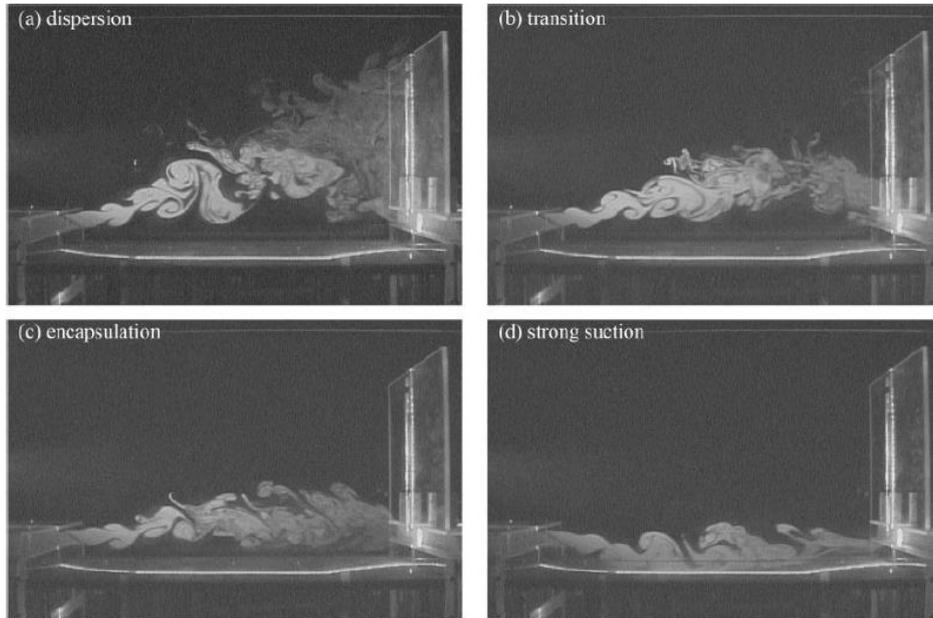


Figure 4 : Types d'écoulements caractéristiques en fonction de la variation de la vitesse d'aspiration [1]

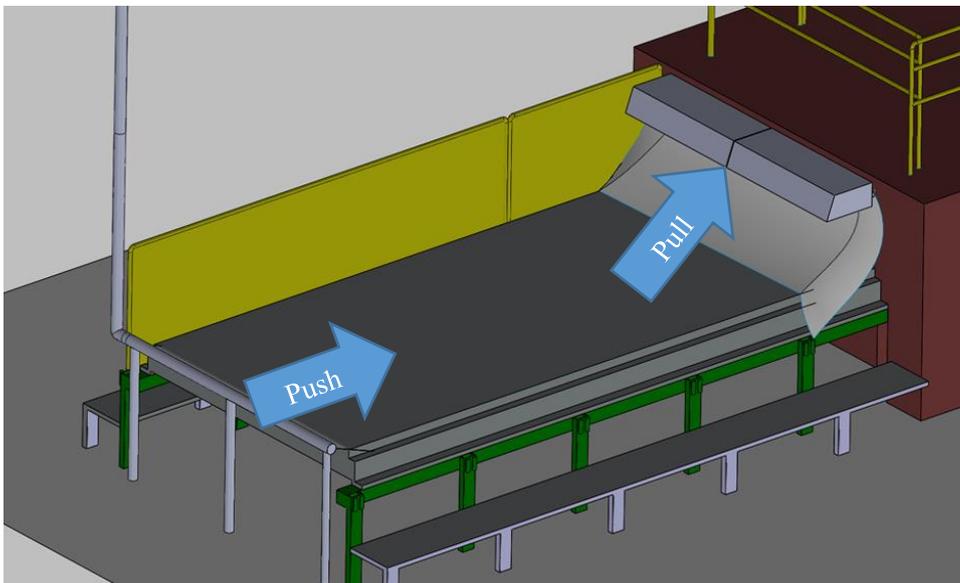


Figure 5 : Système push-pull adapté au plateau

2.2. Dispositif obtenu

Le système push-pull, destiné à évacuer les gaz libérés, est dimensionné dans la version longue de cet article suivant la méthode de Goodfellow et Wang [1]. Ce système permet d'évacuer les gaz émis sur une grande surface (voir figure 5). Le système souffle de l'air extérieur de manière à atteindre une vitesse de 2,58 m/s en bout de cadre, emportant les émanations dans la zone d'aspiration des hottes. Cette vitesse est nécessaire pour s'assurer que les gaz montant du cadre soient capturés et emmenés vers l'aspiration. Celle-ci a un débit de 18112 m³/h. Cette valeur s'approche des valeurs expérimentées par Hama [2] pour des dimensions similaires.

3. Conclusion

Les occasions de dimensionner des systèmes push-pull sont rares dans l'industrie : dans le cas présent, c'est la mise en conformité à la directive « machines » qui a nécessité de recourir à un tel système. Il est une solution particulièrement adaptée pour capter les émissions gazeuses liées à de grandes surfaces : mêmes si le débit obtenu pour le dimensionnement peut sembler important, il reste néanmoins modeste par rapport à l'application d'une hotte.

Comme le nombre d'applications dans ce secteur est limité, le nombre d'acteurs prenant en charge le dimensionnement l'est également. Il est donc particulièrement confortable pour une entreprise qui doit implémenter un tel système de pouvoir se reposer sur les directives de l'ACGIH pour le dimensionnement d'un tel système.

4. Sources

- [1] H. D. Goodfellow et Y. Wang, *Industrial Ventilation Design Guidebook: Volume 2: Engineering Design and Applications*. London: Academic Press, 2021.
- [2] G. M. Hama, « Supply and Exhaust Ventilation for the Control of Metal Pickling Operations », *American Industrial Hygiene Association Quarterly*, vol. 18, n° 3, p. 214-217, sept. 1957, doi: 10.1080/00968205709343496.

Etude coût/impact environnemental d'une poutre de gros œuvre

Ing. E. VAN SPROLANT
ECAM – Bruxelles

1. Introduction

Face au changement climatique, les pays de l'Union européenne se sont fixés des objectifs d'émissions de gaz à effet de serre contraignants afin d'amener des secteurs clés de l'économie à réduire sensiblement leurs émissions. L'ambition est de réduire d'ici 2030 les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 55% par rapport au niveau de 1990. Ces engagements politiques de l'UE ont abouti à la loi européenne sur le climat. Il s'agit du cadre législatif qui imposera aux Etats membres de prendre des mesures pour réduire progressivement leurs émissions et ainsi parvenir à la neutralité climatique de l'UE d'ici 2050.

Ces nouvelles réglementations obligent donc les entreprises à entreprendre des démarches afin de réduire leur impact carbone. Afin de respecter l'accord de Paris et le pacte vert pour l'Europe, de nombreux secteurs, dont celui de la construction, se doivent de réagir.

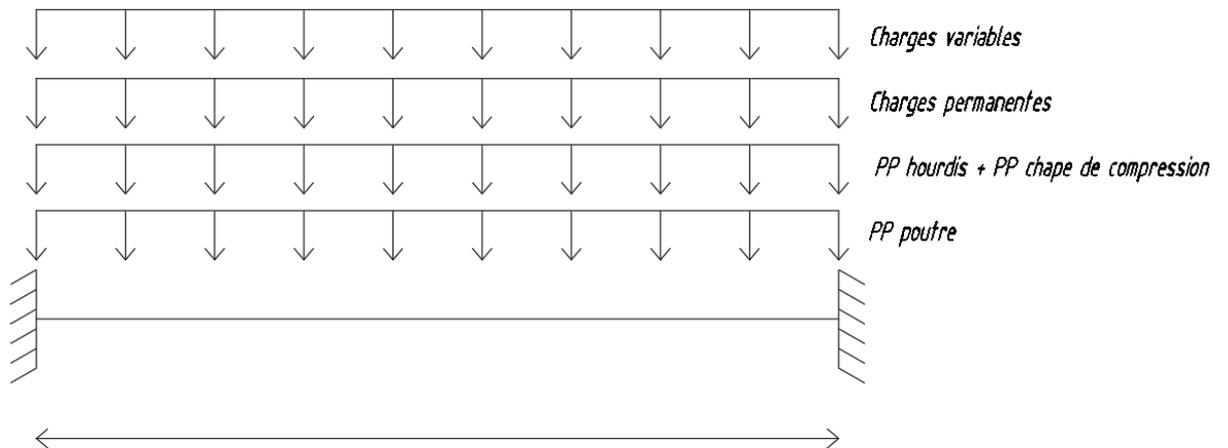
C'est dans ce contexte que le présent travail a pour objectif d'analyser et de mettre en lumière les émissions de gaz à effet de serre dégagées par les poutres utilisées en phase de gros œuvre, afin de faire les bons choix de dimensionnement tout en restant dans des gammes de prix abordables. Lorsqu'un ingénieur se trouve dans la phase de dimensionnement d'un bâtiment, une infinité de possibilités s'offre à lui quant aux poutres à mettre en œuvre. Il n'existe en effet pas de solution unique pour composer une poutre qui résiste à un certain chargement. Un choix peut être fait essentiellement entre le béton armé, l'acier ou le bois. La composition du type de poutre choisie en termes de matériaux utilisés, de leur quantité ainsi que de leur provenance offre une multitude d'options.

2. Approche de l'étude

C'est au travers de l'analyse du cycle de vie des matériaux à l'aide de OneClick LCA, logiciel de mesure carbone et du cycle de vie, que ce travail tentera de comprendre la provenance des émissions participant au réchauffement climatique, afin de pouvoir y remédier le mieux possible. Le cycle de vie complet d'un matériau comprend la phase de production et de mise en œuvre, la phase d'utilisation ainsi que la phase de fin de vie. Dans un contexte de développement durable, une quatrième phase fut ajoutée au cours des dernières décennies. L'idée étant de remplacer la phase de destruction ou de mise au rebus par une nouvelle étape de recyclage et de réutilisation. Il s'agit là d'une étape déterminante, susceptible de contribuer dans une très large mesure à la diminution des émissions de CO₂ équivalent. En effet, en s'écartant du concept de cycle de vie linéaire consistant à fabriquer-utiliser-jeter, en faveur de concepts comme la circularité et le 'zéro déchets', un grand pas a été franchi dans la direction d'une économie plus vertueuse et soucieuse de la sauvegarde de l'environnement.

La démarche consiste donc à effectuer une analyse coûts/impact environnemental d'une poutre en phase de gros œuvre. Concrètement, il s'agit de trouver une solution optimale pour réduire l'empreinte carbone des poutres du gros œuvre tout en restant dans une fourchette de prix raisonnable pour les clients.

La poutre qui fera l'objet de l'étude provient de la tour Mohammed VI, construite par BESIX au Maroc. Elle est située entre le niveau du sous-sol -1 et le rez-de-chaussée de la tour de 250 mètres de hauteur. Dans le cadre de ce travail, nous faisons abstraction de sa localisation. Les fournisseurs choisis seront belges, et le transport ne sera pas pris en compte. Bien que la poutre en question réponde à des normes relativement courantes, c'est surtout le contexte de sa mise en œuvre qui semble intéressant. Son cas de charge et son schéma statique seront étudiés afin de permettre le dimensionnement de plusieurs poutres de composition différente, en béton armé, en profilés d'acier et en bois lamellé-collé. Ci-dessous, une représentation du schéma statique de la poutre en question :



$$L = 8100 \text{ mm}$$

Figure 1: Schéma statique de la poutre

Les valeurs relatives aux différentes poutres calculées seront introduites dans un logiciel nommé OneClick LCA qui doit nous permettre de générer des valeurs d'émission de gaz à effet de serre, sous forme de CO₂eq. Le prix de revient relatif à chaque poutre entrant dans l'équation, calculé sur la base de mètres, doit nous permettre de procéder à une comparaison coût/impact environnemental. Les graphiques produits par l'application permettent, hormis une visualisation plus parlante des résultats, de dégager des tendances et de tirer des conclusions. Ces graphiques sont affichés et discutés dans l'article correspondant à ce document.

3. Résultats

Quelques principes simples par rapport au dimensionnement des poutres de gros œuvre peuvent fournir une contribution positive en termes d'émission de gaz à effet de serre.

Avant toute chose, il est important de garder à l'esprit que pour un certain cas de charge, une poutre en acier émet plus de gaz à effet de serre qu'une poutre en béton armé, qui elle-même émet plus de gaz à effet de serre qu'une poutre en bois lamellé-collé. Au niveau du prix, la poutre en béton armé est la plus avantageuse, suivie par la poutre en acier et ensuite par la poutre en bois lamellé-collé, qui est la plus chère.

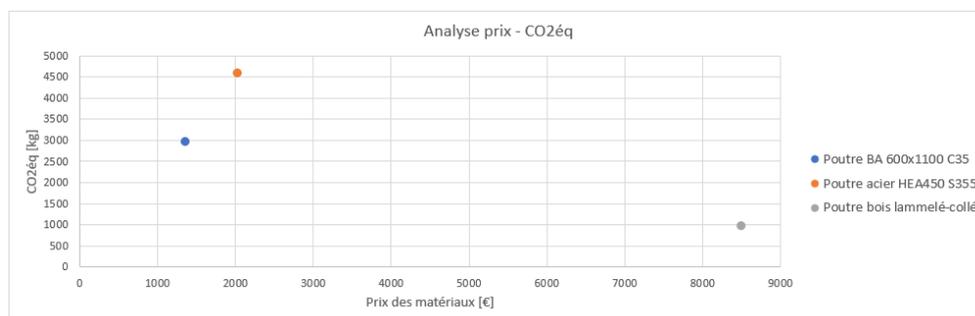


Figure 1 : Graphique comparatif: Coût-CO2eq

Afin d'améliorer les émissions de gaz à effet de serre d'une poutre en béton armé, les éléments qui se sont avérés être déterminants dans le cadre de ce travail sont la proportion du béton et de l'acier, la classe de résistance du béton et l'utilisation de matériaux recyclés dans la composition du béton. Dans l'optique de diminuer les émissions de CO2eq, il vaut mieux augmenter la quantité d'armatures afin de pouvoir diminuer la quantité de béton. Dans la même optique de diminuer la quantité de béton mis en œuvre, l'augmentation de la classe de résistance du béton est une piste intéressante. En effet, même si la quantité de ciment contenu dans le béton est augmentée, la diminution globale du volume de béton, grâce aux caractéristiques propres à une classe de béton supérieure, amènera une baisse des émissions de gaz à effet de serre plus importante. Enfin, le béton « ready mix » ne contenant aucune matière recyclée n'est pas à recommander. En effet, il est préférable d'utiliser un maximum de matériaux recyclés, tout en faisant attention à respecter les normes de proportions maximales en matière de composants recyclés.

Afin de réduire les émissions de CO₂eq des poutres en acier, nous avons étudié les différents types de poutres, ainsi que leur méthode de production. Sous un même cas de charge, les poutres HEA sont constituées de plus de matière que les poutres IPE. Leur forme a une influence sur l'inertie de la poutre. Il est donc logique que la poutre contenant le plus de matière ait un taux d'émission de gaz à effet de serre supérieur à l'autre. De plus, le prix des poutres IPE est inférieur à celui des HEA. Il est donc préférable d'utiliser des poutres IPE. Par ailleurs, la production à l'aide d'un arc électrique permet de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre. Contrairement au haut fourneau qui fonctionne avec du gaz, l'arc électrique fonctionne avec de l'électricité. De plus, l'arc électrique utilise majoritairement de l'acier déjà utilisé afin de le recycler et de lui donner une seconde vie. La phase A1 'Matières premières' du cycle de vie est donc supprimée. L'acier Xcarb, développé par ArcelorMittal offre une solution intéressante au niveau de la production. En plus d'utiliser un four à arc électrique avec des matériaux recyclés, l'énergie utilisée est verte. La solution Xcarb est 4.5% plus chère que l'acier traditionnel.

Le bois lamellé-collé constitue une bonne alternative au béton et à l'acier. Malheureusement, ses caractéristiques mécaniques ne permettent pas la même efficacité que le béton et l'acier. Cependant, lors de l'utilisation du bois, il est important d'éviter la combustion du bois en fin de vie. Le carbone absorbé est relâché dans l'atmosphère. Enfin, il s'agit également d'un matériau plus cher que ses homologues en béton armé et en acier.

4. Remerciements

Cette étude n'aurait pas été possible sans la participation active de l'entreprise BESIX. Je pense notamment à Madame Mira Hoevenaeghel et Madame Emma-Lien Bertels, qui m'ont aiguillé et soutenu afin d'aboutir sur des résultats pertinents. Je tiens également à remercier Ing. Christelle Huenaerts, enseignante à l'ECAM, qui m'a accompagnée tout au long de l'étude.

5. Source

VAN SPROLANT, E., *Etude coût/impact environnemental d'une poutre de gros œuvre*, Mémoire de master, Bruxelles, Belgique : ECAM, juin 2022.

Les fluides frigorigènes pionniers reconstruisent l'avenir de la réfrigération

Ing. A. BORREY – Ing. D. KÖTTGEN
HELMo-Gramme – Liège

1. Introduction

En pleine période de crise énergétique, il peut être intéressant de se pencher sur les secteurs les plus gourmands. Parmi ceux-ci, le domaine de la réfrigération est l'un des moins populaires. Avec plus de trois milliards de dispositifs installés à travers le monde, le secteur du froid représente plus de 15 % de la consommation électrique mondiale. Ce pourcentage se répartit parmi de nombreuses applications. Nous nous intéresserons ici précisément au secteur du retail, et plus spécifiquement aux installations frigorifiques et thermiques de trois magasins de proximité.

2. Objectif

Cette étude consiste en la comparaison de trois technologies de production frigorifique différentes. Cette comparaison se fera sous trois aspects :

- I. Selon un aspect énergétique avec le calcul du « coefficient de performance » COP;
- II. D'un point de vue environnemental sur base des tonnes équivalentes de CO₂ rejetées dans l'atmosphère tout au long de l'exploitation des installations;
- III. Selon un aspect financier par le calcul du « Total Cost of Ownership » TCO.

Il est important de souligner que cette étude compare les productions et pas les distributions frigorifiques et thermiques, c'est-à-dire qu'elle ne se penche pas sur les meubles frigorifiques, les chambres froides et les cassettes de chauffage mais uniquement sur les dispositifs de production : les centrales frigorifiques, les pompes à chaleur et les chaudières.

3. Les trois types d'installation étudiés

Les trois installations étudiées font recours à trois technologies différentes. Afin d'obtenir une comparaison valable, les puissances frigorifiques installées et les superficies des magasins sont similaires.

3.1. Centrale frigorifique au CO₂ couplée avec une chaudière au gaz naturel

Le premier magasin est équipé d'une centrale frigorifique utilisant du dioxyde de carbone comme gaz réfrigérant. Cette centrale permet d'alimenter les points frigorifiques (meubles positifs et négatifs, chambres positives et négatives) ainsi que de chauffer le magasin. On parle de froid négatif en-dessous de 0°C et de froid positif au-dessus de 0°C. La technologie du CO₂ permet de récupérer de la chaleur lors de la production d'énergie frigorifique. Si cette récupération de chaleur n'est pas suffisante pour chauffer le magasin, c'est une chaudière d'appoint au gaz naturel qui apporte le complément afin de satisfaire la demande thermique.

3.2. Centrale frigorifique au CO₂ uniquement

Le second point de vente est également équipé d'une centrale frigorifique au CO₂. La régulation de cette centrale est en revanche bien différente. Ce magasin diffère du précédent car il n'est pas équipé de système de chauffage d'appoint. Si la récupération de chaleur sur la centrale frigorifique n'est pas suffisante pour chauffer le magasin, le régime de celle-ci est modifié : afin de récupérer davantage de chaleur, la charge frigorifique est volontairement augmentée et le surplus de production frigorifique est rejeté dans l'atmosphère.

3.3. Centrales frigorifiques à l'ammoniac et au CO₂ couplées avec des pompes à chaleur au propane

L'installation du troisième magasin est composée d'une centrale utilisant de l'ammoniac (NH₃) comme fluide frigorigène pour produire du froid positif, d'une plus petite centrale au CO₂ pour produire du froid négatif et de deux pompes à chaleur air-eau au propane pour chauffer le magasin. Ces trois dispositifs sont régulés indépendamment selon les demandes frigorifiques positive et négative ainsi que suivant la demande thermique.

4. Mesures réalisées

Sur chacune des installations étudiées, différents paramètres ont été relevés. Suivant le type d'installation et les dispositifs de mesures disponibles, les données relevées ont pu être plus ou moins détaillées. Globalement, les productions frigorifiques et thermiques ont été enregistrées d'une part, ainsi que les consommations énergétiques (électricité et gaz) nécessaires à ces productions d'autre part. Cette campagne a été réalisée continuellement sur une période de 2 mois durant laquelle la température extérieure moyenne était assez proche de la température moyenne annuelle (température moyenne de 12,68 °C lors de notre campagne et température moyenne annuelle de 10,2°C en Belgique). Sur base des mesures, différentes performances ont pu être déterminées. D'un point de vue énergétique, l'indicateur principal retenu est le coefficient de performance « COP ». Il se définit comme le rapport des productions par les consommations.

$$COP = \frac{Production(s) \text{ frigorifique}(s) + Production(s) \text{ thermique}(s)}{Consommation \text{ énergétique totale}} \quad (1)$$

Suivant les dispositifs de mesures installés, il a été possible d'affiner l'analyse des COP en calculant par exemple un COP_{froid} :

$$COP_{\text{froid}} = \frac{Production(s) \text{ frigorifique}(s)}{Consommation \text{ énergétique liée aux productions}} \quad (2)$$

Ensuite, les tonnes équivalentes de CO₂ rejetées dans l'atmosphère sur toute la durée de vie des installations ont été quantifiées. Cet indice porte le nom de « Total Equivalent Warming Impact » TEWI.

$$TEWI = \text{effet direct} + \text{effet indirect} \quad (3)$$

Où :

- L'effet direct reprend les tonnes équivalentes de CO₂ rejetées dans l'atmosphère dues aux fuites des équipements ainsi qu'au non-recyclage du fluide frigorifique en fin de vie de l'installation
- L'effet indirect reprend les tonnes équivalentes de CO₂ rejetées dans l'atmosphère dues à la production d'électricité (ou de gaz) nécessaire au fonctionnement des installations

Dernièrement, le calcul du coût total des installations et de leur exploitation « Total Cost of Ownership » TCO additionne les frais de maintenance, de consommations énergétiques ainsi que les investissements initiaux pour l'acquisition des centrales de production.

5. Résultats

L'analyse des résultats démontre qu'aussi bien des points de vue énergétique, environnemental que financier, c'est la technologie utilisant de l'ammoniac comme fluide frigorigène qui est la plus efficace.

Ce sont ses performances énergétiques qui lui permettent de se démarquer. Avec un COP_{global} (c'est-à-dire reprenant aussi bien les productions frigorifique que thermique) moyen sur une période de 2 mois de 5,9, elle devance successivement les technologies « CO₂ – gaz naturel » (COP_{global} de 3,5) et « uniquement CO₂ » (COP_{global} de 2,5). Si l'on creuse davantage, on remarque que c'est le fait d'avoir une production frigorifique très performante (COP_{froid} moyen de 6,3) qui permet à l'installation à l'ammoniac de se démarquer. Le couplage des centrales frigorifiques avec des pompes à chaleur au propane ne dégrade pas énormément le COP car ces pompes offrent également des performances respectables (COP_{chaud} moyen proche de 5). Pour ce qui est des installations utilisant du CO₂, leur COP_{global} est supérieur au COP_{froid} car l'énergie thermique récupérée sur les centrales est gratuite. En effet, la récupération de chaleur n'engendre pas de consommation électrique supplémentaire. Elle est donc très intéressante et permet de bien meilleures performances lorsqu'elle est bien utilisée.

Deuxièmement, sur base des performances énergétiques, les performances environnementales peuvent être analysées. Ces dernières se quantifient à l'aide du « Total Equivalent Warming Impact » TEWI. Par sa définition, il est évident que les performances énergétiques des technologies permettront de minimiser l'impact environnemental des centrales. Toute économie sur la consommation énergétique permet en effet de réduire la composante indirecte. Logiquement, l'installation utilisant de l'ammoniac tire donc de nouveau son épingle du jeu. Par ses performances énergétiques, les émissions équivalentes de CO₂ sont diminuées de moitié (fig. 1) par rapport à l'installation composée d'une centrale au CO₂ et d'une chaudière au gaz naturel. L'installation n'utilisant que du CO₂ voit son impact environnemental multiplié par 3 par rapport à l'installation à l'ammoniac.

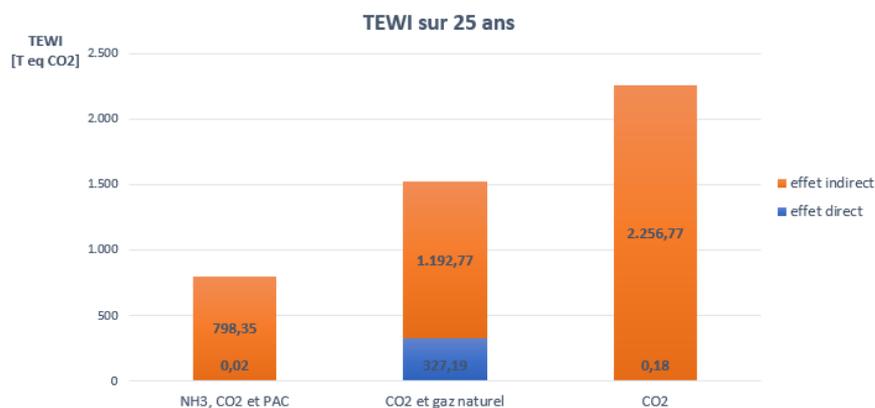


Figure 1 : Graphique de comparaison des TEWI sur 25 ans

Notons la prépondérance de l'effet indirect devant l'effet direct (fig. 1). Sur le graphique, les composantes directes n'apparaissent pour les installations à l'ammoniac et uniquement au CO₂. Les contributions des fuites et du non-recyclage du fluide en fin de vie n'interviennent qu'à raison inférieure à 1% de l'ensemble des émissions. Si l'on se penche sur l'installation utilisant du gaz naturel, plus de 99% de l'effet direct est causé par la combustion de gaz naturel. En conclusion, la prépondérance de l'effet indirect devant l'effet direct est très clairement marquée. Les émissions équivalentes dues à l'échappement de fluide frigorigène dans l'atmosphère sont donc minimes devant l'influence des performances énergétiques. L'installation de dispositifs performants avec un fluide légèrement plus nocif pour l'environnement est donc à privilégier devant une installation moins performante avec un fluide environnementalement neutre.

Dernièrement, il est évident que de faibles consommations énergétiques permettent de réduire le coût d'exploitation des installations. C'est pourquoi le « Total Cost of Ownership » TCO est à son tour fortement lié aux performances énergétiques.

L'indice TCO a été calculé pour une période de 25 ans (fig. 2). 25 ans étant la durée de vie moyenne de ce type d'installation frigorifique. Les frais de maintenance et de consommations sont donc pris sur une période de 25 ans tandis que l'investissement prend uniquement compte de l'achat initial des équipements.

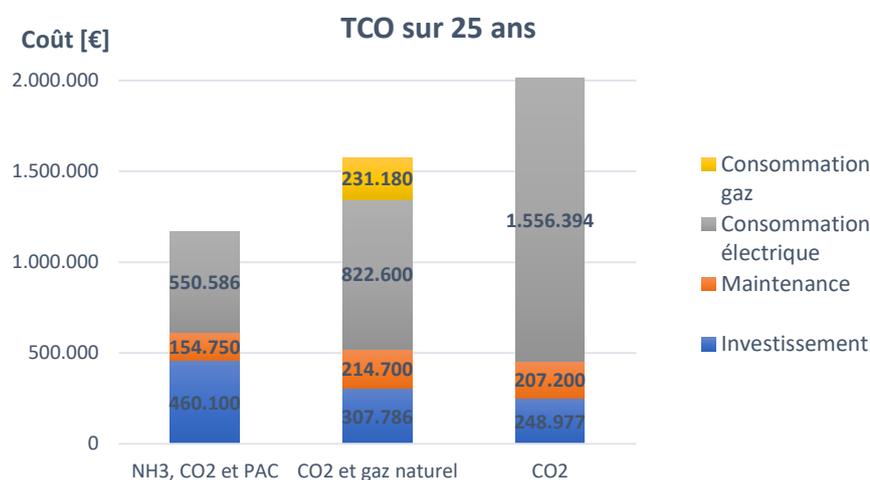


Figure 2 : Graphique de comparaison des TCO sur 25 ans

Une fois l'ensemble des frais cumulé, on remarque qu'une installation initialement plus onéreuse mais offrant de meilleures performances permet de minimiser son coût d'exploitation et principalement ses coûts de consommations énergétiques. Le surcoût d'une installation à l'ammoniac est relativement vite récupéré par rapport à une installation au CO₂ (environ après quatre années d'exploitation seulement).

6. Conclusion

Pour conclure, sur base des analyses énergétiques, environnementales et financières, une technologie frigorifique tire son épingle du jeu : l'installation comprenant une centrale à l'ammoniac pour le froid positif, une centrale au dioxyde de carbone subcritique pour le froid négatif et deux pompes à chaleur pour le chauffage. La gestion indépendante des demandes calorifiques permet une meilleure régulation des productions. Ce sont évidemment les performances énergétiques des équipements qui permettent de minimiser les indices TEWI et TCO. Pour l'installation la plus performante, la consommation énergétique représente 47 % du TCO après 25 ans. Pour les deux autres installations, ce pourcentage est de 67 et 77 %. Il est donc favorable d'investir dans une installation plus onéreuse à l'achat. Au niveau environnemental, l'effet indirect du TEWI représente plus de 99 % de l'effet total (que ce soit pour le dioxyde de carbone ou l'ammoniac). Il est donc nécessaire de se concentrer davantage sur les performances des installations plutôt que de réglementer les fluides frigorigènes utilisés. L'avenir ne se situe-t-il pas dans l'optimisation de technologies existantes plutôt que dans l'innovation de techniques frigorifiques ?

7. Sources

- [1] DELCOURT P. *Les installations frigorifiques au CO2*. Publication indépendante, 2016.
- [2] COULOMB D., DUPONT J-L.& PICHARD A. *Le rôle du froid dans l'économie mondiale, Note d'information sur les technologies du froid*, Institut International du Froid, 2015.
- [3] MEUNIER F., RIVET P. & TERRIER M-F. *Froid industriel, RPF Revue pratique du froid et du conditionnement d'air*, 2005.

Évaluation des propriétés bactériostatiques d'un extrait de houblon enrichi en acide bêta dans le cadre d'un usage cosmétique

Ir C. Sergent
L. Durieux
Ing. C. Saussez
Ir V. Jerkovic
HELHa – Mons

1. Introduction

La société actuelle consomme de plus en plus de produits plus naturels, et le domaine de la cosmétique n'échappe pas à cette tendance. C'est pourquoi les formulateurs de cosmétiques cherchent fréquemment à remplacer les substances synthétiques dans leurs produits par des substituts naturels [1]. Parmi les agents de formulation les plus difficile à remplacer, se trouvent les conservateurs. Souvent décriés, leur usage et le nombre de molécules autorisées est sans cesse restreint par la législation. Il est impératif de proposer des alternatives naturelles rapidement.

Le houblon est une plante réputée pour ses propriétés amérisantes et aromatiques en brasserie mais elle possède également de nombreuses autres propriétés intéressantes : anti-inflammatoires, sédatives, antioxydantes, oestrogéniques et antimicrobiennes [2]. Les propriétés antimicrobiennes du houblon sont principalement attribuées aux acides amers, et plus particulièrement aux acides alpha et bêta, qui présentent une activité antibactérienne et antifongique. Les acides bêta sont très efficaces, et plus particulièrement contre les bactéries gram positives [2].

Le pôle biotechnologie du CeREF Technique a mis au point une poudre à base de houblon, enrichie en acides bêta, dans le but de profiter des propriétés antibactériennes du houblon, sans concurrencer le domaine brassicole, grand consommateur d'acides alpha. En raison de ses propriétés antimicrobiennes, cet extrait naturel a été intégré dans des crèmes cosmétiques dans le but d'agir en tant que conservateur.

Les contaminations dans un produit cosmétique peuvent survenir lors de la production (air ambiant, manipulateur, matériel utilisé, matières premières) ou lors de l'utilisation du produit par le consommateur. Après la production d'un produit, les contaminations bactériennes sont plus courantes que les contaminations fongiques. Les *Pseudomonas* sont fréquemment isolées dans les cosmétiques non utilisées et ont une origine hydrique. Les autres contaminations sont généralement dues à des *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus* et *Clostridium*. Lors de l'utilisation, les contaminations les plus fréquentes proviennent de *Staphylococcus* et de moisissures. Afin d'éviter que ces contaminations n'affectent le produit, un conservateur antimicrobien doit généralement être ajouté à la formulation du produit cosmétique [1], [3].

L'évaluation de l'efficacité d'un conservateur dans un produit cosmétique se fait généralement via un « challenge test ». Pour cela, différents microorganismes sontensemencés en quantité déterminée dans le produit. Le conservateur doit être capable de faire décroître rapidement la concentration en microorganismes dans le produit, jusqu'à la rendre indétectable et éviter la dégradation organoleptique du produit ou un danger pour la santé du consommateur [4], [5]. Les 5 microorganismes préconisés par la norme ISO 11930 :2019 pour cet essai sont *Pseudomonas aeruginosa* CIP 82.118 (ATTC 9027) (bactérie Gram négative), *Escherichia coli* CIP 53.126 (ATTC 8739) (bactérie Gram négative), *Staphylococcus aureus* CIP 4.83 (ATCC 6538) (bactérie Gram positive), *Candida albicans* IP 48.72 (ATCC 10231) (champignon) et *Aspergillus niger* IP 1431.83 (ATCC 16404) (champignon), ou toute autre souche équivalente issue d'une collection nationale. D'autres espèces peuvent être ajoutées si de tels microorganismes sont susceptibles d'occasionner des contaminations dans le produit [3].

Cet article décrit l'état l'avancement des recherches sur l'évaluation de l'efficacité de la poudre de houblon enrichie en acides bêta dans le cadre de son utilisation comme conservateur cosmétique.

2. Matériel et méthodes

L'efficacité de la poudre d'acides bêta mise au point au CeREF a été évaluée via la méthode du « challenge test ». Deux expériences ont été réalisées en parallèle : la première en laboratoire et la seconde en conditions réelles. Seule l'expérience réalisée en laboratoire sera reprise dans la version courte de cet article.

2.1. Préparation des échantillons

Préparation des crèmes Le milieu choisi pour évaluer l'efficacité de la poudre d'acide bêta est une crème cosmétique de composition simple, ne contenant pas de conservateur, préparée au laboratoire à base d'huile d'amande douce, d'huile d'olive, d'eau, de cire d'abeille et d'alcool cétylique.

Contamination des crèmes Dans le cadre du « challenge test » en laboratoire, 5 souches de microorganismes présentes à la surface de la peau (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* et *Aspergillus niger*) ont été standardisées au laboratoire. Des échantillons de 20 g de crème cosmétique ont étéensemencés avec environ 80000 CFU (colony forming unit) ou spores de chacune de ces 5 souches de microorganismes.

Ajout du conservateur Après détermination de la concentration en acides bêta dans la poudre de houblon par HPLC-UV (Chromatographie Liquide Haute Performance couplée à un détecteur Ultra-Violet), différentes quantités d'acides bêta ont été incorporées dans les crèmes contaminées : 0 g (contrôle positif), 0.1g, 0.5 g, 1 g, 2 g et 3g. Il est important de noter que généralement une combinaison de différentes molécules conservatrices est ajoutée dans la formulation. Dans l'étude présentée, uniquement l'extrait étudié est ajouté à la crème.

2.2. Évaluation de la charge microbienne

Le « challenge test » a duré un mois. Aux jours 0, 7, 14, 21 et 28, un échantillon de chaque pot de crème a été prélevé et dilué successivement 4 fois dans du bouillon de Sabouraud. Ensuite, chaque dilution a étéensemencée en duplicate sur gélose PCA et incubée pendant 72 h à 30-35 °C. Finalement, les colonies ont été dénombrées et identifiées[6].

3. Résultats

3.1. Examen microbiologique

Les résultats des cultures présentes sur les boîtes de Pétri pour différentes conditions sont reprises dans la Figure 1. Les résidus de crèmes étant très semblables à des colonies, les boîtes réellement contaminées ont été encadrées en rouge et marquées d'une croix afin de faciliter la lecture du tableau.

Le contrôle positif démontre qu'en absence d'acides bêta, les microorganismes ont une bonne viabilité et se développent dans la crème. L'identification des microorganismes a mis en évidence *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* et *Candida albicans*. L'absence des autres microorganismes peut s'expliquer par un effet de compétition, dû aux différentes vitesses de croissance des différentes espèces.

En semaine 0, un développement de microorganismes est présent à toutes les concentrations en acides bêta. Les microorganismes présents n'ont pas été identifiés. Toutefois, la présence d'*Aspergillus niger* est visible à toutes les concentrations entre 0.1 g et 3 g. A 0.1 g, différents microorganismes sont présents dans l'échantillon.

Entre 0.5 g et 3 g d'acides bêta, seul *Aspergillus niger* est capable de se développer. Selon la littérature, les acides bêta sont principalement actifs contre les bactéries gram positives plutôt que contre les champignons [2]. De plus, le temps de contact entre les acides bêta et les microorganismes n'a pas été suffisant pour permettre leur inhibition.

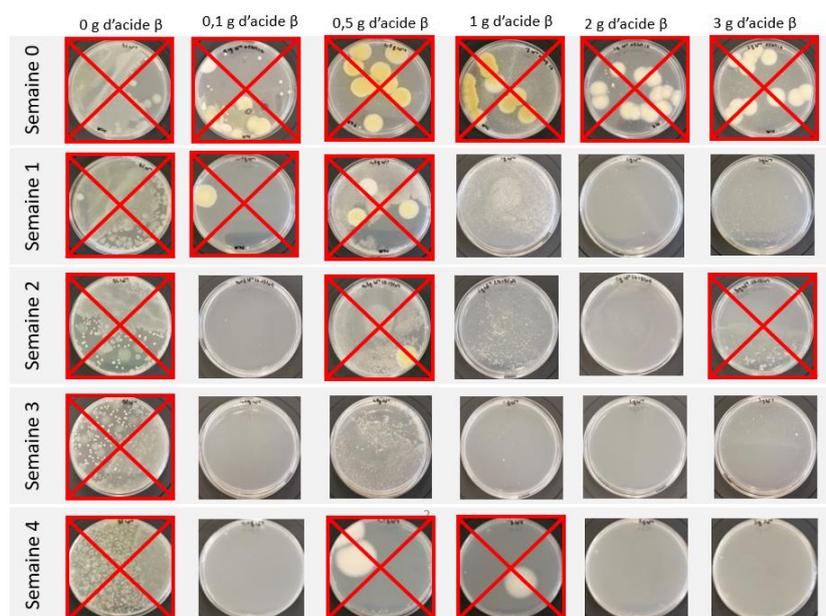


Figure 1: Examen microbiologique du « challenge test » en conditions de laboratoire de crèmes contenant de 0 à 3 g d'acide bêta, contaminées par 5 microorganismes standardisés. Les boîtes contaminées sont marquées d'une croix.

En semaine 1, les concentrations supérieures à 0.5 g d'acide bêta permettent de d'inhiber complètement le développement de tous les microorganismes. Tandis qu'à 0.1 et 0.5 g d'acides bêta, un développement d'*Aspergillus niger* est visible, même si la charge microbienne a diminué par rapport à la semaine 0.

En semaine 2, le développement des microorganismes est inhibé à toutes les concentrations, sauf dans la boîte de 0.5 g, dans laquelle *Aspergillus niger* est présent. Et dans la boîte de 3g, dans laquelle du *Staphylococcus aureus* a été détecté. La poudre d'acides bêta a eu un effet retard aux plus faibles concentrations. Même dans les boîtes ayant permis un développement microbien, la charge microbienne a été considérablement diminuée, ce qui pourrait justifier la présence d'une colonie à 0.5 g mais pas à 0.1 g. Les résultats devraient être reproduits pour être validés.

En semaine 3, le conservateur est efficace à toutes les concentrations, aucun développement n'est observé dans les boîtes.

En semaine 4, des développements sont à nouveau visibles aux concentrations 0.5 g (*Aspergillus niger* et *Staphylococcus aureus*) et 1 g (*Aspergillus niger*). Ces résultats pourraient provenir d'une contamination extérieure pendant la manipulation.

Le « challenge test » a démontré qu'à partir d'une semaine, toutes les quantités de poudre testées sont capables d'inhiber le développement de *Staphylococcus aureus*, de *Pseudomonas aeruginosa*, d'*Escherichia coli* et de *Candida albicans*. Seul *Aspergillus niger* a été capable de se développer dans les échantillons contenant les plus petites quantités d'acides bêta. L'expérience doit être répétée pour valider les résultats. *Staphylococcus aureus* a été détecté à 3 g en semaine 2 et à 0.5 g en semaine 4. Les acides bêta sont normalement capables d'inhiber la croissance des bactéries Gram +. La présence de ce microorganisme à 3 g en semaine 2 et à 0.5 g en semaine 4 pourrait être expliquée par une contamination humaine lors des manipulations. *Staphylococcus aureus* est une bactérie régulièrement présente dans la flore humaine et dans le laboratoire. La présence de la contamination est occasionnelle et ne se répète pas dans le temps. De plus, la charge microbienne est faible et la contamination survient après une période pendant laquelle aucun microorganisme n'avait été détecté ce qui tend à confirmer l'hypothèse d'une contamination par l'opérateur.

4. Conclusion et perspectives

Le « challenge test » en laboratoire a démontré qu'à partir d'une semaine, toutes les quantités de poudre testées sont capables d'inhiber le développement de *Staphylococcus aureus*, de *Pseudomonas aeruginosa*, d'*Escherichia coli* et de *Candida albicans*. Seul *Aspergillus niger* est capable de se développer. Les concentrations au-delà de 0.5 g d'acide bêta/ 20 g de crème permettent d'inhiber efficacement les microorganismes inoculés dans la crème. Les concentrations à 0.1 g et 0.5 g se montrent partiellement efficaces et ont permis de réduire la charge microbienne dans les échantillons. Ces doses pourraient donc être envisagées en synergie avec d'autres conservateurs. Il reste à vérifier que l'efficacité de l'extrait n'est pas affectée par la présence d'autres molécules conservatrices.

Les résultats obtenus lors de cette étude doivent être reproduits afin d'être confirmés. Ensuite, l'efficacité de la poudre de houblon pourrait être testée dans d'autres formulations cosmétiques (gel douche, gommage, etc), et la plus petite concentration efficace devra être déterminée. Les milieux plus riches en eau étant plus favorables aux contaminations microbiennes, l'évaluation de l'efficacité du conservateur dans ces conditions est nécessaire. L'absence d'effet bactéricide contre la flore cutanée aux concentrations utilisées dans les produits cosmétiques est un point important à étudier. La stabilité du conservateur (température, temps, etc) et son interaction avec d'autres molécules devra être évaluée. Finalement, la synergie avec d'autres conservateurs sera également investiguée afin de pouvoir utiliser les plus petites concentrations possibles.

5. Bibliographie

- [1] A. Kerdudo *et al.*, « Development of a natural ingredient – Natural preservative: A case study », *Comptes Rendus Chimie*, vol. 19, n° 9, p. 1077-1089, sept. 2016, doi: 10.1016/j.crci.2016.06.004.
- [2] L. Bocquet, S. Sahpaz, et C. Rivière, « An Overview of the Antimicrobial Properties of Hop », in *Natural Antimicrobial Agents*, J.-M. Mérillon et C. Riviere, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2018, p. 31-54. doi: 10.1007/978-3-319-67045-4_2.
- [3] M.-C. Martini et M. Seiller, *Actifs et additifs en cosmétologie*, 3^e éd. Lavoisier TEC & DOC, 2006.
- [4] Copaiba S.R.L., « Copaiba - Challenge Tests », *Copaiba*, 2020. <https://copaiba.be/consultance-formulation/challenge-tests> (consulté le 19 avril 2022).
- [5] N. Kočevr Glavač et M. Lunder, « Preservative efficacy of selected antimicrobials of natural origin in a cosmetic emulsion », *International Journal of Cosmetic Science*, vol. 40, n° 3, p. 276-284, 2018, doi: 10.1111/ics.12461.
- [6] Solabia, *Catalogue Biokar Diagnostics*. Date inconnue.

Measuring and Optimizing Video Player Streaming Profile Algorithm.

Ing. G. BOUILLON – Ing. D. BOSCHLOOS – Ing. P. DEKIMPE
ECAM – Bruxelles

1. Introduction

Online video streaming is becoming the most popular way of consuming remote content. By the end of 2022, according to Cisco studies, online video streaming will represent more than 82% of all consumer internet traffic. This is 15 times higher than in 2017 [1]. Video streaming has been gaining popularity and today end-users' expectations have strongly increased. The end-user Quality of Experience (QoE) is a central concern for anyone who wants to do business with remote content streaming. Studies show that after clicking "play" in a player, roughly 6% of the audience leaves every second if the video doesn't start up in the two first seconds. This means that after 10 seconds of waiting, more than half of the audience has left [2]. Moreover, it is shown that a 1% rebuffering¹ during the playback time induces a watch time decrease of $\pm 5\%$. These quality problems decrease the QoE and thus discourage remote content streaming. This proves that quality level selection alongside content delivery speed are key features that all streaming content companies should pay attention to.

The goal of this work is to propose solutions to optimize Proximus video player speed and quality. Considering that Proximus has control over the entire end-to-end chain from player to network connectivity and stream encoding, solutions can be suggested across all these domains.

Today, automatic video quality selection algorithms perform quite well especially thanks to the technology evolution and associated solutions that emerge each year. Optimizing such an algorithm would be outside the scope of this work. A first possible solution would thus be to choose one of the existing algorithms provided by related work (from research, papers, internet...) and implement it to Proximus Pickx TV player. For Proximus, the solution cannot be limited to choose the best selection algorithm. The solution must work in their environment and must be compatible with

¹ A rebuffering is a loading event that appears when the player buffer is empty. This means the consumer must wait for the player to download the video sequence.

their chosen players. Their current working solution needs to be analysed to improve some other streaming parameters such as the streaming content itself. In that case the solution would be more suitable for Pickx and different teams may be interested. Solving a problem by the roots is often more effective and maintainable. In this case it means optimizing the way content is delivered starts with looking at how the content is created (encoded).

2. Adaptive Bitrate Streaming

In recent years watching remote content over internet (i.e., OTT streaming) has gained great popularity while non-HTTP protocols have been left behind. Over The Top (OTT) streaming is based on HTTP protocols and runs on TCP connections. Thanks to TCP communications network packets will be assured to reach their destination even if it requires more time due to retransmissions. As described in the Introduction, the importance of streaming quickness, smoothness and responsiveness has led to the development of a new technology called Adaptive Bitrate (ABR) streaming.

With ABR technologies the player can quickly start the video playback and increase or decrease the displayed quality. This switching decision is directed by the ABR decision algorithm. This algorithm takes multiple parameters into account (such as network throughput, buffer size, playback position, etc.) to decide whether to proceed with a quality up or down-scaling.

3. Network Identification

It is not straightforward to define a "bad network condition". Such a subjective observation depends on the usage. For instance, requirements for reading news on internet are not the same as for watching 4K videos on YouTube. In the case of OTT media streaming for Pickx, we need to define what the criteria are for an "acceptable network condition". Then conditions that do not meet these criteria will be considered as "bad network conditions".

The different limiting factors that represent an "acceptable network condition" can be described as:²

- A maximum latency of 100ms;
- A minimum network constant throughput of 5.52Mbit/s;
- A maximum packet loss of 5%.

These limiting network factors combined with the network technology on Table 1 will be used for the network environment simulation to compare ABR technologies.

² Note that these limiting factors do not consider the computer speed and usage or the server latency.

Mobile network name	Download throughput (Mbit/s)	Latency (ms)
3G	4	100
4G	15	50
4G+	45	50
Wi-Fi	80	12
5G	150	1

Table 1: Typical mobile network throughput and latency. [3], [4]

4. Streams Bitrate & Quality Analysis

When it comes to streaming optimization, the first idea would be to optimize the player or its ABR algorithm. The original video - made by a movie studio (or other) - is not the data stream that is sent to the video player; it is much too large. Meaning that a stream will first be encoded (and reduced in size) before transport over the network. This encoding measurement is important as that is where first efficiency losses may appear. That is the purpose of this section, namely, how to measure the encoding quality (encoding loss) and what optimization to do to increase the streaming QoE.

4.1. VMAF

At *Netflix*, they noticed that existing metrics (DMOS, PSNR, SSIM) did not fully represent human visual perception or were not a solution to run at scale. They decided to launch VMAF, a tool that predicts image and video quality resemblance level [5]. The VMAF tool produces a VMAF score which describes the quality resemblance between an original video and the same altered video. It scores this comparison between 0 and 100³. This metric tries to estimate human relative image quality level based on Machine Learning predictions.

4.2. Improvement Suggestion

It might be more convenient to handle a more "standard" ABR quality ladder for Pickx streams. For example, by using six different quality levels. It seems to be a good trade-off between the ten levels used by *Netflix* (and other industries) and the 3 levels currently used for Pickx (web and mobile). Table 2 is based on the *Netflix* default ABR ladder, adapted to the different Pickx usage.

³ With VMAF < 20 the distorted video is described as very bad and with VMAF > 80 the distorted video is considered as excellent.

Quality level	Bitrate (kbps)	Resolution
1	500	480x270
2	1000	640x360
3	1500	1280x720
4	3000	1280x720
5	4300	1920x1080
6	6000	1920x1080

Table 2: Suggested ABR ladder adapted for Pickx.

It can also be interesting to adapt the current ABR ladder with a more dynamic approach. That is what *Netflix* has developed in 2015 under the name of Per Title Encoding (PTE). The idea is to adapt the ABR quality ladder to the content type. In some cases, there is no need for high quality levels (3000kbps, 4300kbps and 6000kbps) as the quality score reaches its limit and the user will not perceive any difference. With action movies it is interesting to add more quality steps between the 1500kbps and the 6000kbps levels while for animation or cartoon movies 1500kbps or lower bitrates are sufficient.

5. Tuning the Selection Methodology

In this section, we will explore the various commonly used ABR algorithms and evaluate their pros and cons. Our aim is to suggest the best algorithm for Pickx, based on performance analysis. To evaluate the performance of these algorithms, we will simulate them using a specific tool and compare the results under different circumstances.

The Pickx default algorithm (called **v2**) performs quite well for the predefined network configurations. But when it comes to adapt video quality with a discontinuous 4G+ network configuration, the algorithm keeps switching between available qualities. This decreases the QoE as the user will perceive a lot of quality updates. To improve the Pickx player selection algorithm there is only one way; tuning the different configuration settings proposed by the player SDK. Due to the lack of documentation and the complexity of this task we will not follow this direction. Moreover, **v2** is closed source which means reverse engineering the code is not allowed although it would be feasible. We will then simulate other well-known ABR algorithms with *Sabre* (an ABR simulation tool [7]).

6. Conclusion

The network environment description in this work gives the fundamental factors to understand how OTT video playback can be altered. A "bad" network configuration can be defined by assuming the importance of these factors.

Stream quality analysis methods are used to benchmark the current Pickx streams quality ladder. VMAF is the new measurement method that outperforms the others regarding Human Visual System predictions. It is shown in this work that the main drawback for the Pickx ladder is the difference between successive quality levels and the lack of high-quality streams, especially for very dynamic scenes within action movies. A new 6-levels ladder is suggested which should increase the users' QoE. It is also suggested to take an interest in dynamic quality ladder definition called Per Title Encoding (PTE). PTE can tailor the quality ladder to the streaming content type. It is not always necessary to have the higher quality level as differences between the maximum and lower levels are in most case not noticeable, plus it can save network throughput.

The ABR selection algorithm oversees whether to switch the video quality by analysing the player environment. Results show that the default Pickx player ABR selection algorithm does not surpass actual production algorithms used by many streaming providers and switching to a new one is recommended.

7. References

- [1] Cisco, 'Forecast and Trends, 2017–2022'. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>
- [2] S. S. Krishnan and R. K. Sitaraman, 'Video Stream Quality Impacts Viewer Behavior: Inferring Causality Using Quasi-Experimental Designs', *Proceedings of the 2012 Internet Measurement Conference*, no. 14, pp. 211–224, 2012, doi: 10.1109/TNET.2013.2281542.
- [3] S. Fenwick, 'Mobile Network Experience Report'. <https://www.open-signal.com/reports/2020/03/belgium/mobile-network-experience>
- [4] Speedtest, 'Belgium's Mobile and Fixed Broadband Internet Speeds'. <https://www.speedtest.net/global-index/belgium#mobile>
- [5] Z. Li, A. Aaron, I. Katsavounidis, A. Moorthy, and M. Manohara, 'Toward A Practical Perceptual Video Quality Metric'. <https://netflixtechblog.com/toward-a-practical-perceptual-video-quality-metric-653f208b9652?gi=6a615618c98a>
- [6] J. Ozer, 'How Netflix Pioneered Per-Title Video Encoding Optimization'. <https://streaminglearningcenter.com/articles/how-netflix-pioneered-per-title-video-encoding-optimization.html>
- [7] K. SPITERI, 'From Theory to Practice: Improving Bitrate Adaptation in the DASH Reference Player'. <https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/3336497#sec-23>

Développement d'un outil permettant l'analyse et la vérification de récipients sous pression selon le code ASME, le code CODAP et la norme EN 13445

Ing. M. LOUIS – Ing. D. MARECHAL – IR. J. MARRA
HELMo-Gramme – Liège

1. Introduction

L'objectif de ce travail est d'aider GDTEch¹ à acquérir les compétences nécessaires dans l'étude et le dimensionnement des récipients sous pression, domaine dans lequel l'entreprise n'avait a priori aucune connaissance. Il a donc fallu se renseigner sur ce qu'il se passait dans le monde de la chaudronnerie, sur les différents codes et normes existants, réaliser une étude de marché pour savoir vers quel type de récipients allait se tourner l'étude et enfin se renseigner sur l'existence ou non de logiciels capables de réaliser les dimensionnements de récipients sous pression. C'est à la suite de l'essai d'un des logiciels que l'idée de créer un outil de dimensionnement est arrivée. Le but final de ce mémoire est donc de créer un outil facile d'utilisation permettant d'analyser et de vérifier les récipients sous pression.

2. Les différents codes et norme utilisés

2.1. Le code américain ASME

L'ASME est l'un des codes le plus ancien mais aussi le plus utilisé, c'est pourquoi il a été étudié dans le cadre de ce mémoire. C'est l'ASME VIII Division 1 qui a été choisi car la partie VIII est celle dédiée aux récipients sous pression et la Division 1 est celle qui est majoritairement utilisée.

¹ GDTEch, bureau d'étude spécialisé dans les projets de R&D pour tout type d'industries, est l'entreprise demandeuse du mémoire

2.2. Le code français CODAP

Le CODAP a été choisi car c'est le code principalement utilisé en France, là où l'entreprise GDTech aimerait s'exporter. C'est le CODAP Division 2 qui a été étudié car c'est la division la plus complète.

2.3. La norme européenne EN 13445

L'EN 13445 est la norme principalement utilisée sur le continent européen. Il a été choisi d'étudier la partie 3 car c'est la partie contenant les informations nécessaires au dimensionnement des équipements sous pression.

3. Comparaison des codes et de la norme utilisés

3.1. Comparaison théorique

La comparaison théorique permet de voir que le CODAP autorise des épaisseurs plus faibles tout en permettant de conserver des pressions intérieures et des contraintes admissibles plus élevées par rapport à l'EN 13445 et à l'ASME. En termes de contrôles de qualité, c'est l'ASME qui est le meilleur puisqu'il vérifie son process à chaque étape alors que le CODAP ne le fait qu'en fin de process.

3.2. Comparaison pratique

La comparaison pratique a été réalisée avec le logiciel de dimensionnement et de vérification d'équipement sous pression AUXeCAP.

De cette comparaison ressortent les mêmes conclusions que pour la comparaison théorique à savoir, les contraintes et pressions intérieures admissibles sont plus élevées tout en conservant des épaisseurs de parois plus faibles pour le CODAP que pour l'ASME et l'EN 13445.

4. Outil de dimensionnement

L'idée de réaliser un outil de dimensionnement est venue à la suite de l'essai du logiciel AUXeCAP car en regardant de plus près, celui-ci n'était rien d'autre qu'une feuille de calcul Excel. Il a donc été décidé de réaliser un outil facile d'utilisation et interne à l'entreprise.

L'outil de dimensionnement est assez simple et instinctif. En effet, il suffit à l'utilisateur d'encoder les dimensions préalablement fournies par le client et l'outil fait le reste. L'utilisateur n'aura qu'à aller voir à la fin du dimensionnement de l'élément pour savoir si oui ou non les dimensions demandées par le client sont bonnes.

Il faut savoir que cet outil ne dimensionne pas à proprement parler les éléments d'un récipient sous pression mais vérifie que les dimensions choisies par le client respectent le code ou la norme choisi. Si le dimensionnement venait à être mauvais, l'utilisateur devrait alors modifier l'épaisseur, seul paramètre modifiable, ou encore changer de code ou de norme en prenant l'ASME par exemple puisque comme mentionné plus haut, celui-ci permet des épaisseurs plus grandes que le CODAP.

Une comparaison du logiciel AUXeCAP et de l'outil de dimensionnement a été réalisée et il en ressort que les deux sont relativement semblables même si quelques différences flagrantes persistent. La première est que le logiciel ne vérifie pas les conditions à appliquer en amont ou en aval du dimensionnement. Ensuite, le logiciel n'utilise pas toujours les formules prescrites dans les codes ou la norme et préfère utiliser des itérations pour trouver certaines épaisseurs. Enfin, le logiciel n'utilise pas toujours les formules données dans les codes ou la norme et préfère utiliser la définition du terme en question. Ces différences représentent des erreurs comprises entre 10 et 30% qui sont prises du côté de la sécurité dans l'outil de dimensionnement puisque celui-ci surévaluera l'épaisseur avec l'erreur ci-dessus.

5. Conclusion

Pour en arriver à l'idée de développer un outil d'analyse et de vérification, le chemin parcouru a été long. Les étapes permettant d'arriver à cet outil ont été nombreuses mais nécessaires à la bonne réalisation de cet outil.

Il y a d'abord eu les recherches sur les différents codes et normes existants afin de savoir lequel ou lesquels existaient et allaient être utiles à GDTEch pour la suite du projet. Dans un premier temps, il ressort de ces recherches que l'étude de l'ASME, du CODAP et de l'EN 13445 seraient suffisant et que de ces trois-là, le CODAP était le meilleur. C'est à la suite de l'essai du logiciel AUXeCAP que l'idée même de créer un outil est venue et que celui-ci serait un plus pour l'entreprise.

Le but final de ce mémoire était donc de créer un outil facile d'utilisation et le plus complet possible, ce qui a été réalisé puisque lorsqu'on regarde la comparaison entre le logiciel AUXeCAP et l'outil de dimensionnement, on se rend bien compte de la ressemblance entre les deux, à l'exception de quelques petites différences qui, au final, rendent l'outil meilleur.

6. Sources

- [1] *AMSE Boiler & Pressure Vessel Code*, ASME, The American Society of Mechanical Engineers, Amérique, 2015.
- [2] *CODAP Division 1*, CODAP, SNCT, Paris, 2020.
- [3] *CODAP Division 2*, CODAP, SNCT, Paris, 2020.
- [4] KOPLEWICZ D. & AL, *Comparaison entre EN 13445 et le code CODAP 2000*, 2004.
- [5] *Unfired pressure vessels – Part 3 : Design*, EN 13445-3 : 2014 E, CEN – Comité Européen de Normalisation, Bruxelles, 2014.

Développement de nouveaux catalyseurs pour la synthèse de polyéthylène

Ing. J. BARONE
Dr V. Cirriez
Ecole d'Ingénieurs, HELHa Mons

Today more and more companies are looking for new kinds of technologies, especially new kinds of materials with improved properties. As part of contributing to an accelerated transition to a sustainable society, the goal of this study is to develop new kinds of packaging in the agri-food business sector.

Effectively, current agri-food packaging has a bad impact on energy consumption. The production of this kind of product needs a big amount of energy because it is composed of several layers made of different sorts of materials such as aluminum, cardboard, and polyethylene. Therefore, producing this kind of packaging requires the production of each single layer composing it. Moreover, this multi-layer product makes the recycling not easy because of the variety of materials which it contains.

To face this problem, new types of polyethylene compositions to be processed films with improved properties must be developed to substitute multi-material packaging. It would obviously be a big step to decrease energy consumption because this product would be composed of only one type of material. It would also make its recycling easier.

By knowing that macroscopic properties of polymers are fixed by their microstructure which is also defined by the synthesis, developing new catalysts which will allow the polyethylene to have mechanical macroscopic properties which are similar or better than current multi-material packaging is investigated.

According to research conducted by the R&D center « TotalEnergies One Tech Belgium », the target microstructure should be defined by a large molecular weight distribution and a specific comonomer incorporation. Comonomer should be incorporated mostly in the short chains of the polymer and its incorporation should be significantly less important in longer polymeric chains.

The type of catalyst which has been chosen to perform this project was the metallocene one because it's the best one among those usually used to control in the best way possible, the microstructure of polyethylene.

In fact, two kinds of metallocene that generate polymers with significantly different properties in terms of chains length and comonomer incorporation must be supported on the same catalytic support as shown on the figure 1.

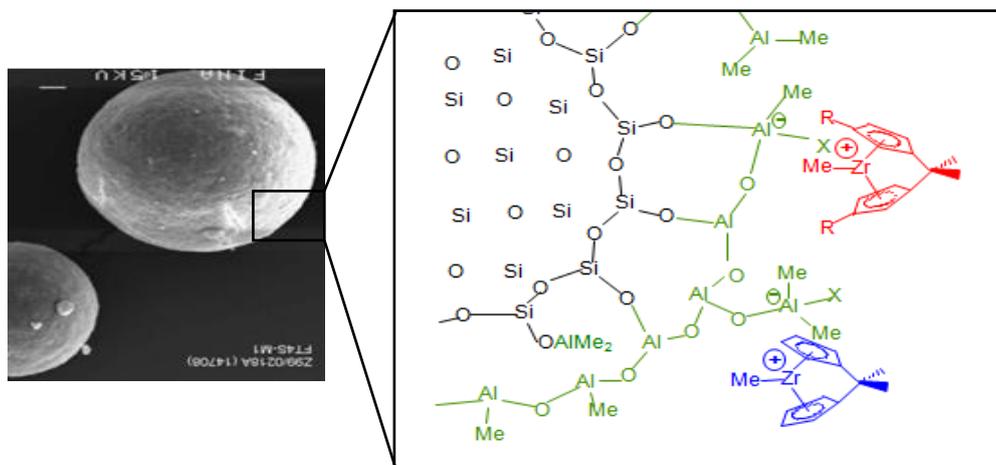


Figure 1 : Deposition of two different metallocenes on the same activated support[1].

The aim of this project was about determining these properties for every single metallocene available at the research center to characterize the properties of each specific metallocene. Among 80 different structures, 15 were prepared, tested on a lab-scale polymerization reactor, and the resulting polymer properties were obtained too. Then among these 15 structures, different combinations of metallocenes were

performed trying to hit the target microstructure. To choose the right couples of metallocenes the following condition had to be followed: the first metallocene chosen needs to have shorter polymeric chains and a more important comonomer incorporation than the second chosen one.

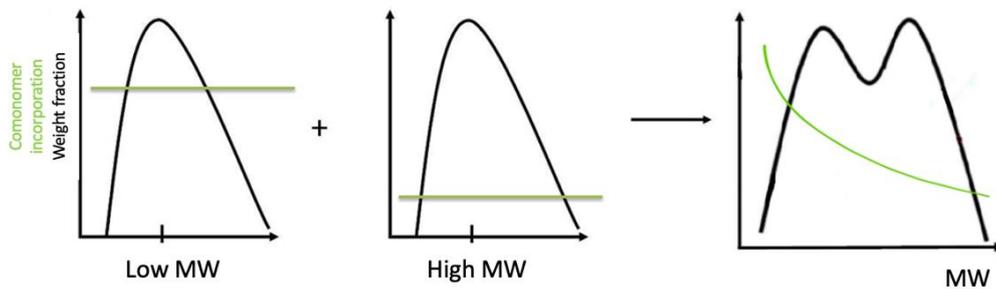


Figure 2 : The strategy deployed.

Three different combinations of metallocenes were tested on a lab-scale polymerization reactor. Polyethylene synthesized was characterized by GPC-IR. The first one shows a comonomer incorporation that suits the target molecular design. It means that comonomer incorporation is important for short chains and lower for longer chains. The other two show a molecular design which doesn't really suit to the target because the comonomer incorporation is decreasing with the length of polymeric chains and then increasing.

As perspectives, it's possible to add that the first combination catalyst could be tested on the pilot plant which would be a good way to simulate real industrial synthesis conditions. It would also allow to have a larger amount of material to perform real mechanical film tests.

Sources

- [1] Sigwald A. Formation polymères 2021. Propriétés des polymères, Feluy 2021.

Techno-Economic Feasibility Study of a DC Distribution Grid Supplying a Hydrogen Production Plant

Ing. A. STYPA – Ing. A. BOUCQUEY
ECAM – Bruxelles
TRACTEBEL Engie

1. Context

With climate change representing an existential crisis for humanity, the need for decarbonization to limit global warming as formulated in the Paris Agreement (2015) is driving the growth of electrification worldwide. This is most noticeable in the transport and power sectors with the increase of electric vehicles and renewable energy sources. Due to the intermittent nature of renewables, storage systems are required in the electrical power grid to solve fluctuation and synchronization problems. Today's growing demand for electrification and renewable energy production is creating new challenges in terms of grid stability, resilience and security. The current electrical infrastructure is reaching its technical limits which forces engineers to reassess the working and design of electrical grid distribution.

Alternative current (AC) has been the standard choice for transmission and distribution purposes on the common utility grid for over a century thanks to Tesla's invention of the electrical transformer permitting higher voltage levels for the same power and thereby preventing important current losses. Direct current (DC) fell short of expectations for efficient power transmission due to the lack of technology in DC conversion equipment.

Today however, owing to the surge of power electronics in the late 20th century, efficient power transmission is reached with DC along with the increasing use of DC electronics. High voltage direct current (HVDC) transmission is now the standard choice for long-distance transmission due to lower power losses compared to HVAC. In spite of this progress, AC still remains the common and cheaper choice for smaller transmission distances and distribution purposes.

As a consequence of the exponential growth of renewable energy and storage systems, reevaluating the setup of the power grid is urgent as DC may present an improved energy- and cost-efficient solution for transmission and distribution aspects: the inherent DC nature of most renewable energy sources, loads and storage systems permits an easier integration on a DC or hybrid AC/DC distribution grid compared to the classical AC grid.

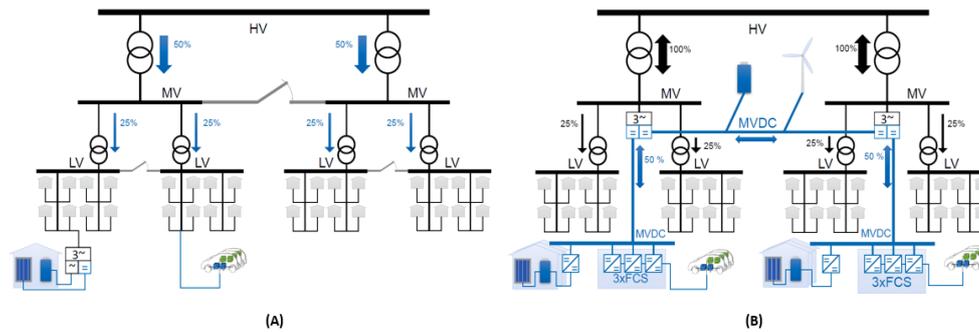


Figure 1 : Easier integration of decentralized sources in hybrid (B) vs AC grid (A)

Higher power capacity transmission at same voltage levels is also achieved since DC conductors experience no reactive, skin, Ferranti and proximity losses.

Furthermore, synchronization challenges regarding frequency and phase angle to maintain the grid frequency at 50Hz do not arise as DC systems naturally have no reactive power flow or harmonics due to their frequency being equal to 0. This also translates to easier power flow and the elimination of phase and frequency problems when connecting different AC grids together.

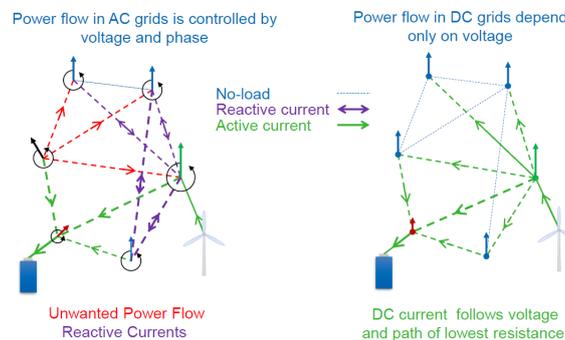


Figure 2 : Easier power flow attained in DC

Finally, the physical size of power converters is greatly reduced thanks to the high internal frequency values (>1kHz) in contrast to the 50/60Hz AC transformers. DC/DC converters are considered more efficient at their rated power than AC transformers for the same power rating.

2. Objective

The main objective of this paper is to elaborate the benefits of employing direct current on a multi-point distribution level by demonstrating the techno-economic feasibility of a DC distribution grid supplying an existing hydrogen production plant facility (Figure 3). A comparison between the original case study and the newly proposed DC configuration takes place with regards to energy- and cost-efficiency.

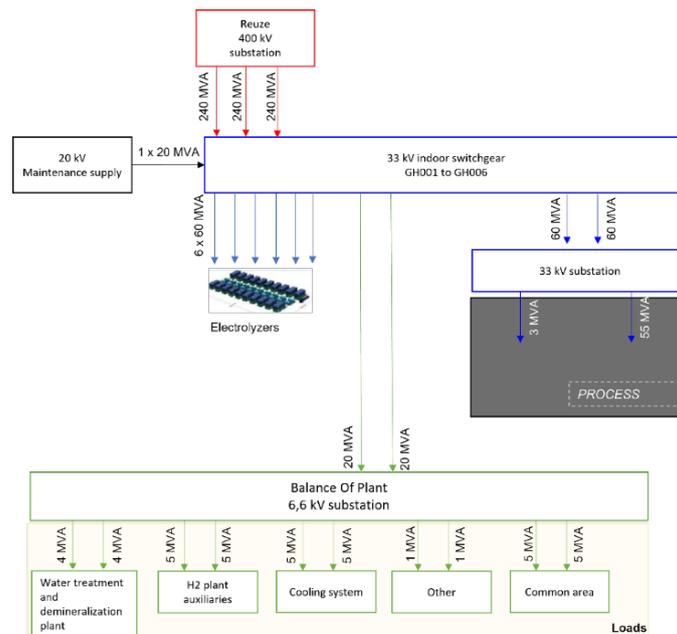


Figure 3 : Electrical supply configuration of hydrogen production plant

3. Methods and Results

A state-of-the-art analysis of DC distribution grids is performed to present an overview of the existing, on-going, and future DC projects to further develop the applicable norms and standards. The key technologies required for their adoption include voltage source converters (VSCs), DC/DC converters, protection and cable technology. Finally, an outline regarding grid classification is provided.

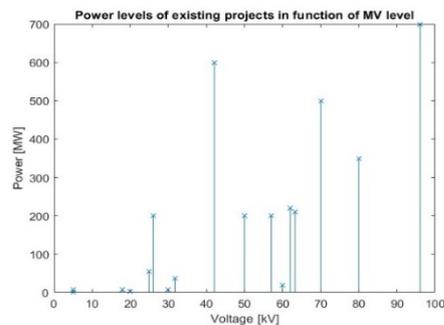


Figure 4 : Power range from existing DC projects

Next, a technical feasibility study is carried out by proposing the most energy-efficient alternative to the existing case study (Figure 3) whilst minimalizing the amount of modifications. The feasibility of this newly formed DC network is verified through a load flow and short circuit analysis via the demo version of the software “ETAP”.

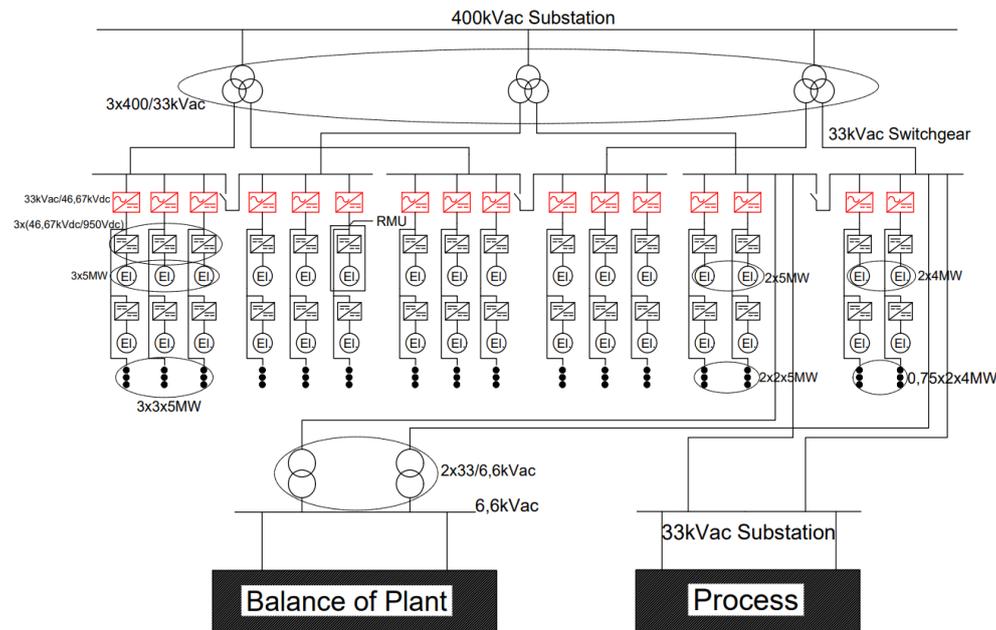


Figure 5 : Proposed alternative incorporating DC technology to the grid

The ETAP simulations of the new distribution system (Figure 5) portrays promising results for the DC part of the grid as it possesses fewer line losses and converter units (especially since the 362 electrolyzer modules no longer require an internal rectifier) which result in a higher efficiency value compared to the AC system.

Table 1 : Total number of converters per configuration

Original case study	Proposed alternative
3x400/33kV – 2x120MVA transformer	3x400/33kV – 2x120MVA transformer
2x33/6,6kV – 2x10MVA transformer	2x33/6,6kV – 2x10MVA transformer
91x33/0,4kV – 2x2,1MVA transformer	60x23,335/0,95kV – 5MW DC/DC converter 14x46,67/0,95kV – 5MW DC/DC converter
362x0,4kVac/0,4kVdc – 1MW rectifier	16x33kVac/46,67kVdc – 25MW rectifier
Total: 458 converters	Total: 95 converters

Subsequently, an economic feasibility study is carried out to obtain a cost-benefit analysis by comparing the total cost of system A (original case study) and system B (substitute study) via the following formula :

$$\text{Total costs} = \text{Manufacturing}_{costs} + (\text{Maintenance}_{costs} + \text{Operating}_{costs}) * \text{time}$$

Table 2 : Financial expenses of system A and system B

	System A	System B
Total manufacturing costs [€]	88.827.043	96.206.000
Total maintenance costs [€/YEAR]	17.765.409	24.051.500
Total operating costs [€/YEAR]	886.305.882	837.066.667

The capital expenditures (CAPEX) are higher for system B because of the required expensive power converter and low maturity of DC technology, whereas the operational expenditures (OPEX) are higher for system A due to the larger total operating costs. Based on the figures from table 2, system B becomes more cost-efficient after 63 days.

4. Conclusion

This study presents a competitive DC solution to an AC distribution grid by analyzing its technical characteristics before carrying out an economic analysis of the final chosen system. The energy- and cost-efficiency comparison between the two configurations shows the promising potential of utilizing DC technology, however this would be even more compelling if the case study incorporated further DC sources and loads such as renewable energy sources and storage systems to be coupled with the electrolyzers. Future work should definitely include other aspects that were not taken into account in this study such as protection and power control.

In conclusion, DC distribution systems do appear today more efficient than their AC counterparts, particularly when multiple distributed energy resources need to be integrated into the grid containing predominantly DC loads; however because of the AC market inertia, the lack of standardization, experience and qualified workers, and the low technological readiness levels of DC equipment, power control and protection, the current aging electrical grid still remains the most cost-competitive and mature option in most cases.

It also does not make sense to replace the entire existing radial AC infrastructure by a pure DC one; it is recommended instead to construct hybrid AC/DC grids enabling consequently a smooth transition from centralized AC systems to decentralized meshed DC grids.

LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES

Année académique 2021 -2022

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

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

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

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

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

1. AUTOMATIQUE

1.1. RÉGULATION

- | | | |
|-----|----------------------|---|
| [H] | CRESTAN Joshua | Automatisation et supervision d'une mini-usine didactique |
| [E] | DEBELLE Aloïs | Conception, réalisation et tests d'un procédé didactique « balle dans le tube » pour l'enseignement de l'automatique |
| [E] | DELFOSSE Anthony | Définition et réalisation d'une supervision standard Siemens pour le séchage en chambre dans l'industrie de la terre cuite |
| [E] | DUPUIS Edouard | Development of a cable driven parallel robot to verify the radioactivity on a surface |
| [H] | DUPUIS Sébastien | Développement et implémentation d'un réglage automatique des régulateurs PID d'une installation HVAC |
| [E] | EL AOUMARI Sohaib | Implémentation d'une structure de contrôle et d'une supervision énergétique pour un système de batteries à flux rédox |
| [H] | HÉRION Pauline | Revamping d'un écran HMI sur un lyophilisateur |
| [H] | LEDUNE Kévin | Etude et automatisation d'une cuve tampon d'alcool |
| [E] | PASIERB Oskar | Implémentation et étude d'un système de supervision sur une installation HVAC |
| [E] | PEREZ SANCHEZ Matias | Development of a cable driven parallel robot to verify the radioactivity on a surface |
| [E] | SAHMAOUI Lamya | Réalisation d'un banc d'essai pour l'étude et la régulation de vannes thermostatiques sans fil |
| [G] | SAMBON Louis | Réalisation de l'électronique d'un banc d'essai ainsi que de la régulation d'un moteur permettant l'analyse de différents prototypes. |
| [E] | VAN GANSBERGHE John | Optimisation et implémentation de la régulation d'un compresseur centrifuge dans la production industrielle de chlore |
| [E] | ZIELENIEWSKI Michel | Utilisation du Smart Readiness Index comme outil d'amélioration d'un bâtiment connecté |

1.2. SYSTÈMES SÉQUENTIELS

- | | | |
|-----|-------------------|--|
| [E] | AZAIZAOUI Mohamed | Revamping de la partie automatisation d'un microfluidiseur avec intégration à Deltav |
| [E] | DAOUDI Souhail | Automatisation de procédé chimique de greffons osseux |

[H]	HENNEBERT Marie	Amélioration et supervision à distance d'installations de traitement de déchets médicaux
[E]	LEVEQUE Mathieu	Automatisation d'un démonstrateur robotisé pour le contrôle non destructif par inspection multi-technique ultrason et infrarouge
1.3. ROBOTIQUE		
[E]	CAPOUET Sacha	Étude et réalisation d'un prototype de numérotation et découpe de câbles conducteurs
1.4. AUTOMATES PROGRAMMABLES		
[P]	ANSIAUX Maxime	Implémentation d'une gestion technique centralisée afin de contrôler les équipements process HVAC
[E]	BENZIAN Youness	Mise en place d'un système de maintenance préventive sur le contrôleur d'un bioréacteur
[P]	BERTRAND Colin	Retrofit d'une scie-perceuse de rails
[H]	BOSARD Arnaud	Modernisation et automatisation d'une chaîne de production de séparateurs en carton
[E]	BOUTY Louis	Rénovation et automatisation d'un laminoir à chaud de laboratoire
[P]	CLABODTS Justin	Modernisation et amélioration d'une machine de test du fonctionnement de thermostats
[E]	DE LEEUW Noélie	Programmation d'une mini-usine via un automate programmable Siemens et comparaison de 3 automates programmables sur une séquence de la mini-usine
[E]	DELLA FAILLE DE LEVERGHEM Erwan	Etude du fonctionnement d'un accélérateur de particules de radiopharmacie et analyse de l'influence de différents facteurs sur celui-ci afin d'aboutir à une proposition d'amélioration de la régulation du faisceau de particules
[P]	HENRION Matthieu	Débogage et migration de la programmation d'un automate de liaison entre une ligne de production et un système SCADA
[G]	HUET Antoine	Réalisation d'un système auto-adaptatif permettant de suivre la surface d'une pièce 3D complexe
[E]	MATHIEU François	Automatisation et régulation de petites centrales hydrauliques couplées au réseau de distribution électrique
[H]	SCHÖLER Edwin	Étude et réalisation de la partie contrôle/commande d'un transport pneumatique NEU

- [E] WOUTERS Quentin Rénovation d'un simulateur de laminage à chaud par presse uniaxiale

1.5. CAPTEURS ET INSTRUMENTATION

- [E] ASSOUAD Joseph Autodiagnostic de panne pour des installations HVAC et assistance au dépannage
- [G] CHARLIER Louis Étude et automatisation d'un procédé de chargement de camions citernes en liquide cryogénique
- [P] DIERICKX Anthony Amélioration du programme de contrôle d'une caméra 3D pour des soudures à l'étain
- [H] MARKEY Antoine Développement et application d'une méthode d'analyse de supervision interface humain machine vers une supervision ME

1.8. APPLICATIONS DE L'AUTOMATIQUE

- [G] MARTIN Jérôme Elaboration of a test bench for a pitch control system of a wind energy converter Senvion MD77

2. CHIMIE

2.1. CHIMIE INDUSTRIELLE ET PROCÉDÉS PILOTES

- [H] ARS André Amélioration du processus de prétraitement de l'eau d'une centrale électrique afin d'éviter le colmatage accéléré des membranes d'osmose inverse
- [G] BREULET Julien Etude du chromage des lames d'essorage.
- [H] DELANNOY Léo Mise en place d'une cartographie interactive des effluents d'une unité PVC préliminaire à l'installation d'un traitement physico-chimique
- [H] NEF Robin Valorisation du frass de larves de ténébrion meunier par méthanisation
- [H] SELLAMI Ismail Etude des dysfonctionnements de la station d'épuration d'une industrie agro-alimentaire
- [H] VAN LANDUYT Cédric Détermination du MDR et optimisation d'une installation de production d'acide nitrique concentré

2.2. BIOCHIMIE – BIOTECHNOLOGIE

- [H] BERLEMONT Arthur Valorisation de la biomasse de levure de bière de la Brasserie de Silly
- [H] BREYNE Anastasia Optimisation du phénomène de floculation dans le procédé de fabrication d'inuline
- [H] DE BRUILLE Thomas Optimisation des processus de fermentation et de garde à la brasserie St-Feuillien
- [H] MAES Amandine Etude de la bioremédiation par *Shewanella oneidensis* et *Morganella psychrotolerans* en eau polluée et en milieu synthétique
- [H] MARTINAGE Dorian Fluorination electrochemistry to develop new bioactive molecules
- [H] STAQUET Lore Optimisation du process et de la caractérisation de *Salvia miltiorrhiza*

2.4. CHIMIE DES MATÉRIAUX

- [G] GUSTIN André Étude et caractérisation d'une cellule d'électrodéposition plane biface en vue de son amélioration
- [H] JEZIERSKI Emilie Développement d'un revêtement anti-buée par cuisson UV
- [H] LEBLANC Marine Adekit II, un kit de détection sur site de l'amiante dans les matériaux de construction : stabilisation du substrat

2.5. GÉNIE CHIMIQUE – OPÉRATIONS UNITAIRES

- [H] BAEYENS Erin Étude et tests sur des adjuvants de filtration alternatifs pour les unités Ashless et ZDDP
- [G] FRANCOIS Clément Analysis and Mastery of the Modelling of a Distillation Column on the ValiStudio Software

2.6. CHIMIE – PHYSIQUE

- [H] BARONE Julian Développement de nouveaux catalyseurs pour la synthèse de polyéthylène
- [H] GÉRÉMI Dylan Amélioration de catalyseurs Pd/C par augmentation de l'accessibilité du substrat au Pd.

2.7. CHIMIE – ANALYTIQUE

- [G] JONCKHEER Loïc Mise en application et optimisation d'analyses à Canal Ouvert sur la chaîne automatisée Atellica Solution de Siemens Healthineers

[H]	MOULIN Guillaume	Characterization of nonionic surfactants to improve the degreasing properties of detergents for hand dishwashing application
[H]	SAUDOYEZ Simon	Development of a sustainable antifoam based on an organic fluid to respond to the market trends
[H]	SERGENT Constance	Mise au point d'une méthode analytique de dénombrement de levures et moisissures dans des produits de boulangerie
[H]	VANDEN BERGE Nathan	Etude de la précipitation d'oxydes de zinc à partir d'une source de zinc impure

3. CONSTRUCTION

3.1. STABILITÉ ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

[E]	BAKIRCI Baris-Hasan	Etude de paramétrisation de la structure d'une plateforme maritime pour application en « Parametric Design »
[G]	BONGARTZ David	Conception et dimensionnement du futur bâtiment scolaire de Helmo Gramme en bois lamellé collé et en bois lamellé croisé
[G]	BOUTET Maxime	Etude de faisabilité d'un bâtiment multi-étage en ossature bois assemblé par modules sur base d'un bâtiment R+2 existant
[E]	CANIVET Charles-Antoine	Synthèse des méthodes de calcul associées à la mise au point de détails d'assemblage de panneaux en CLT et création d'un outil de vérification de nœuds constructifs en CLT
[E]	CHOUKI Souheil	Développement d'un outil de dimensionnement de colonnes circulaires dans le cadre d'un bâtiment de grande hauteur (Tour F – Abidjan) en prenant en compte les phénomènes d'instabilités
[G]	DAEMS Pierre	Mise en œuvre de zones d'immersion temporaire à Meix-devant-Virton
[E]	KOSTENKO Oleksandr	Etude de faisabilité et conception d'ouvrages de « sauts-de-mouton » : application aux liaisons Bruxelles Ouest/Midi - Charleroi
[E]	LEGRAIN Louis	Etude paramétrique d'une structure pour conclure de l'influence des matériaux et des choix de conception sur la durabilité
[E]	MALACHE Youri	CLT cintré par la méthode du Lattice Hinge : les prémisses d'une utilisation structurelle

- [E] MISSOTTEN Ivan Développement d'éléments préfabriqués verticaux en béton faiblement armé intégrant des granulats recyclés extrudés sur un banc destiné à la production d'hourdis
- [E] NIOKA PONCIN Nathan Étude comparative de solutions structurelles pour des passerelles industrielles piétonnes pour des travaux marins
- [E] VAN ASTER Quentin Analyse et recherche de la hauteur optimale d'un pont poussé (caisson en béton post-contraint)
- [E] WAUTIER Guillaume Étude de la structure d'une jetée en parametric design

3.2. CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

- [G] VANHERCK Benoît Étude paramétrique de la charge maximale admissible d'un ber pour bateaux

3.3. BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT

- [E] GEULETTE Louis Etude de l'influence de la précontrainte sur les efforts rasants au droit du joint de reprise entre 2 bétons de phase différente

3.4. GÉOTECHNIQUE – MÉCANIQUE DES SOLS

- [E] de THIBAUT de BOESINGHE Eugénie Étude du tassement de pieux en régime non-linéaire et création d'un outil de calcul
- [E] GOOSSENS Arthur Une étude du phénomène de retrait-gonflement des sols plastiques
- [E] HOSSELET Antoine Analyse des variables influençant le dimensionnement des murs de quai en vue de l'élaboration d'un outil de conception paramétrique
- [G] PAQUES Arnaud Étude des pieux de fondation : dimensionnement et problèmes liés à la mise en œuvre

3.6. MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

- [G] BORLEE Charlotte Développement d'une méthodologie de calcul pour des éléments alvéolés verticaux préfabriqués et application au dimensionnement d'une habitation
- [G] CORNET Axel Etude des panneaux CLT, dimensionnement et modélisation numérique d'un bâtiment en structure bois R+5
- [E] HERKENS Quentin Matériaux écologiques/durables pour la stabilité des constructions

[E]	MATERNE Tristan	Etude des performances thermiques d'un mur en béton, imprimé en 3D, avec isolant rigide
[E]	MATHY Julien	Recherche d'une composition de bétons à très hautes performances dans une usine de préfabrication
[G]	NATALIS Louis	Analyse du cycle de vie d'éléments de construction en vue de la création d'un score carbone
[G]	SCHMITZ Aurore	Optimisation bi-objectif de parois constructives via algorithme génétique
[E]	VAN OYE Guillaume	Analyse de la performance acoustique des complexes planchers et parois verticales en CLT pour les immeubles multi-résidentiels
[E]	VAN SPROLANT Edouard	Etude coût/impact environnemental d'une poutre de gros œuvre
[E]	WAGNER Tim	Requalification de performances acoustiques de panneaux acoustiques

3.7. PROCÉDÉS ET TECHNOLOGIE

[G]	COMBLIN Alexandre	Recherche d'optimisations technologiques en vue d'améliorer la productivité
[G]	DEBOEUR Thomas	Élaboration d'un protocole d'urgence et étude des protections d'une entreprise et de son unité de production contre les inondations.
[E]	DENAYER Louis	Nœuds constructifs linéaires - Développement d'un outil de validation de nœuds avec le calcul de l'approximation de la déperdition thermique linéique
[E]	DUFOUR Lorent	Intégration du BIM dans une entreprise
[P]	DUTILLEUL Antoine	Procédés généraux de construction : le cas du gros œuvre d'un complexe immobilier
[G]	FELIX Jérôme	Identification des pistes d'action afin de réduire l'impact environnemental des constructions
[E]	GALY Thomas	Automatisation du dimensionnement et de l'implantation d'éléments techniques au moyen d'une base de données dans un modèle BIM
[E]	HOURIYE Rami	Analyse de la constructibilité d'un élément de support de route dans le cadre de projets maritimes
[G]	LECLERCQ Julien	Étude et rénovation d'une installation pilote de captage de CO ₂ par un solvant aminés
[G]	LECOMTE Quentin	Implémentation et analyse de la mise en œuvre de la 4D sur chantier : apports et obstacles de la méthode

- [E] LISEN Olivier Reporting of highway bridges conditions: analysis of the American systems
- [G] PLEVOETS Yannis Etude de l'approche énergétique et de l'analyse du cycle de vie entre autres par le biais du logiciel Totem pour un immeuble à appartements en région liégeoise
- [E] STEINIER Mathieu Etude de l'impact d'une pré-chape sur la performance acoustique d'une chape flottante
- [P] THIRY René Etude, dimensionnement et intégration des techniques spéciales d'un immeuble à appartements

3.8. PATHOLOGIES ET RÉHABILITATION DES OUVRAGES

- [E] BOUHOUT Youness Etude énergétique et durable d'une solution de façade préfabriquée
- [E] CHARLIER Elise Végétalisation des toitures en pente et intégration de la biodiversité

4. ÉLECTRICITÉ

4.1. ÉLECTRICITÉ GÉNÉRALE

- [P] FAUVILLE Axel Conception et réalisation d'un banc d'essais pour marchepieds des automotrices type 08

4.2. MACHINES ÉLECTRIQUES

- [E] BOUHOUT Moshin Implémentation d'une commande vectorielle sur un moteur de prothèse bionique de cheville

4.3. ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- [G] KHRIBECH Houssam Génération de faibles courants pour le test et la validation d'un système de caractérisation de faisceaux d'ions

4.4. PRODUCTION – TRANSPORT – DISTRIBUTION – RESEAUX

- [P] HONNAY Lucas Analyse du comportement de modules de batteries haute tension de l'Audi e-tron afin d'améliorer la qualité
- [E] STYPA Aaron Techno-economic feasibility study of a DC Distribution Grid supplying a H2-production plant

4.5. APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRICITÉ

- [G] DIDIER Simon Aide à la mise en place d'un bureau d'études haute tension
- [E] GERIN Nicolas Étude comparative des systèmes de chauffage résistif et inductif pour une presse destinée à produire des pièces aéronautiques en matériaux composites

4.6. ENTRAINEMENTS ÉLECTRIQUES

- [E] GALLET Thomas Etude de l'électrification et de l'autonomisation d'un groupe hydraulique à moteur diesel monté sur chenilles

4.7. APPLICATIONS ÉLECTRIQUES DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

- [G] LEFERT Antoine Développement d'une borne de recharge AC professionnelle et étude d'un système de refroidissement pour panneaux photovoltaïques
- [E] MOHAMMAD Zain Sheikh Étude de la technologie des modules à effet Seebeck pour une intégration dans les poêles chauffants

4.8. ÉLECTRICITÉ DU BATIMENT - DOMOTIQUE

- [E] BENYADDOU Adil Etude et optimisation de la production et de la consommation électriques d'un bâtiment tertiaire avec atelier industriel
- [E] DEMESMACKER Tawan Intégration de bornes de recharge sur la plateforme cloud d'Aug.e pour optimiser la recharge de véhicules électriques au sein d'un bâtiment de bureaux
- [P] HERBEUVAL Michaël Analyse et comparaison d'hyperviseurs pour la communication des techniques spéciales dans les bâtiments tertiaires
- [H] JACOBS Pierre Optimisation de gestion de projet
- [E] LAFFUT Simon Développement d'un outil pour l'analyse et la gestion intelligente et financière de l'énergie électrique dans une habitation
- [G] LEBOUTTE Pierre-Emmanuel Supervision des installations électriques du circuit de Spa-Francorchamps

5. ÉLECTRONIQUE

5.1. SYSTEMES EMBARQUÉS – COMPOSANTS PROGRAMMABLES

- [E] BOURNOUSOUZIS Christos Développement d'un DONGLE WI-FI PLUG&PLAY spécifique aux ports P1 des compteurs énergétiques intelligents pour du monitoring énergétique
- [G] BRICTEUX Gilles Conception d'un pupitre de commande déporté pour le système d'imagerie médicale Phoenix Évolution dans le cadre de son utilisation en interventionnel
- [H] DECREÈME Alexandre Projet SALT : développement d'un contrôleur d'actionneurs pour la réalité virtuelle
- [H] HUART Maxence Étude des indicateurs de vieillissement des ventilateurs d'une alimentation de puissance afin d'élaborer une preuve de concept de détection de leur état.
- [E] JACOBI Jordan Prototype de dispositif portable de localisation sur le réseau LoRaWAN pour personnes âgées
- [E] LEMAL Thomas Modernisation de la carte MCU permettant le contrôle de distribution de puissance pour Alpha Innovation
- [G] LOPEZ LOPEZ Nicolas Développement d'un système permettant la localisation du point d'impact d'une roquette
- [E] MARINGER Thibault Mesure de courant pour le contrôle de moteurs : Réalisation d'un récepteur Delta-Sigma sur FPGA
- [G] PAULASKAS Adrien Réalisation d'un module de relecture de Datamatrix gravés dans des seringues en verre
- [E] SARSARI Abdellah Contrôle adaptatif du système de dosage d'Oxon2 ajouté dans le carburant des réservoirs des véhicules
- [E] SCARITO Michaël Système d'Acquisition et de Répertoire d'Avaries avec fonction de télémaintenance d'un tram T2000 (SARA40)
- [E] TAYMANS Landry Calorimètre électronique alimenté par récolte d'énergie thermique
- [H] TERNULLO Marcello Conception d'un banc de test microcontrôleur IoT basse consommation
- [E] VERHEGGEN Nour Réalisation du design d'un prototype de capteur compteur de personne utilisant un sniffeur WiFi

5.2. ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE

- [P] TOUSSAINT Nicolas Conception d'une interface et développement d'un protocole de test pour carte allumeur de module thyristor GTO

- [G] ZIANE Charles-Antoine Modélisation et simulations thermiques d'un serveur vidéo
- 5.3. APPLICATIONS SCIENTIFIQUES – ÉLECTRONIQUE MÉDICALE
- [E] OTMANE-TOLBA Yasmine Développement d'un outil de rééducation du membre supérieur
- 5.4. MESURES – INSTRUMENTATION – SIMULATION
- [G] GUISSÉ Julien Banc d'essai Smartcore : Simulation accéléromètre
- [E] ITUNIME MASALA Rudy Réalisation de 8 mesures de pression grâce à un système d'agrégation de données
- [P] MEYER Simon Conception et développement d'un outil connecté de contrôle qualité de produits finis
- 5.7. SON – IMAGE – ÉCLAIRAGE – OPTOÉLECTRONIQUE
- [E] CALUGAR Finias Conception et réalisation d'un illuminateur infrarouge haute puissance pour la détection des passagers dans les véhicules
- [G] HALIN Olivier Réalisation d'une méthode de détermination des propriétés de transmission et réflexion des surfaces et matériaux optiques par un banc de test BSDF
- [E] SOUIDI Yassin Réalisation d'un banc de test optique pour un appareil médical
- 5.8. APPLICATIONS DE L'ÉLECTRONIQUE
- [E] NABER Timothy Développement d'un treuil contrôlé et embarqué dans un système suspendu pour l'inspection de barrage hydroélectrique
6. ENVIRONNEMENT
- 6.1. ASPECTS ÉCOLOGIQUES DES TECHNIQUES DE PRODUCTION
- [G] BERTRAND Arthur Installation, suivi et amélioration d'unités de biométhanisation au Burundi
- [G] OFFERMANN Martin Production et épuration de biogaz au Cameroun - Mise en œuvre de techniques adaptées au contexte local

- [E] QUOILIN Nathan Étude de l'impact environnemental d'une rénovation passive d'un logement type bruxellois avec TOTEM
- [G] VANDERHEYDEN Guillaume Conception et expérimentation d'un réacteur bioélectrochimique produisant du biogaz riche en méthane à partir d'eaux usées
- [G] VERVOTTE Augustin Réduction et optimisation énergétique sur des procédés d'extrusion plastique
- [G] YPERSIEL Thomas Amélioration du post-traitement du digestat de l'unité de biométhanisation de Herstal
- 6.2. POLLUTIONS ET NUISANCES
- [G] DE MARCO Rémy Bilan carbone des activités d'Enersol depuis 2016
- [P] SERVAIS Maxime Conception d'une hotte aspirante pour une presse de vulcanisation
- 6.4. TRAITEMENT DES DÉCHETS
- [G] BOVEROUX Antoine Étude de la gestion d'effluent industriel : le filtre presse
- [G] HUYGHEBAERT Hugo Fabrication et mise en route d'une unité de biométhanisation pour usage ménager d'une famille au Burundi
- 6.5. DÉVELOPPEMENT DURABLE
- [E] AKTAS Bahadir Etude de solutions techniques durables dans les domaines de l'HVAC et de l'électricité pour le projet de la Tour F
- [G] BAAR Robin Suivi de fonctionnement et améliorations des biodigesteurs installés à Gihanga et Gatumba dans le cadre d'un projet biogaz au Burundi
- [P] DAUSSAINT Romain Étude d'une solution de monitoring énergétique pour un bâtiment tertiaire
- [E] DEWIJN Lucas Étude comparative multicritères sur les typologies constructives (bois, béton, acier), axée sur l'analyse de leurs impacts environnementaux et économiques tout au long de leurs cycles de vie
- [E] EL KADDOURI Abderrahmane Réalisation de l'audit énergétique de l'IT TOWER + Identification des pistes d'amélioration
- [E] ERRABAH Adil Etude technico-économique de solutions de gestion de l'énergie de la cité administrative de l'Etat à Bruxelles

- | | | |
|-----|-----------------|---|
| [E] | FAENZA Raffaele | Étude sur l'opportunité de transformer un balcon en jardin d'hiver |
| [E] | KIBBIT Nassim | Analyse du cycle de vie d'un projet de construction résidentielle en vue de réduire son impact CO ₂ : optimisations, variantes et analyse de coûts à performances équivalentes |
| [E] | R'HONI Noemane | Label biosourcé – Etude technico-économique de l'obtention du Label « Produit biosourcé » pour le panneau Pan-terre |
| [E] | TOUHAMI Ilias | Etude de l'équipement d'un parking de 60 bornes de recharge pour véhicules électriques |

7. GÉOMATIQUE

7.4. GESTION DES BIENS IMMOBILIERS

- | | | |
|-----|-----------------|--|
| [E] | TAHMASEBI Nicky | Le BIM au service de l'Ingénieur géomètre dans ses missions liées à la copropriété |
|-----|-----------------|--|

8. GESTION

8.1. ORGANISATION DU TRAVAIL – PLANIFICATION – LOGISTIQUE – MAINTENANCE

- | | | |
|-----|----------------------|---|
| [P] | BAIVERLIN Nicolas | Amélioration de la capacité et fiabilité d'une coupeuse de gomme en bandes |
| [E] | BENSAGHIR Yassine | Sélection de la proportion idéale de différents types de propulsion de bus pour optimiser l'exploitation sur réseau et le processus de maintenance des véhicules dans les ateliers de la STIB |
| [E] | BOUSFIA Mourad | Détection des causes probables du vieillissement prématuré des batteries de démarrage et/ou d'accessoires de la flotte de bus de la STIB-MIVB |
| [E] | CAESTECKER Guillaume | De l'identification du besoin à la maintenance, comment éviter de tomber dans les pièges de la gestion de projets |
| [H] | EL KAJJAL Walid | Design of a manufacturing planner and feedback software applied to the corrugated packaging industry with the purpose of enhancing productivity and data analytics |

- [E] KATSERS Johanna Optimisation des protocoles de fabrication, de gestion du stock, contrôle qualité, gestion de la rentabilité des travaux, optimisation de la gestion administrative et optimisation/entretien parc machines
- [H] TESTA Andrea Optimisation de la procédure de gestion de projet au sein de l'entreprise LEPAGE SA, certifiée ISO 9001

8.2. CONTRÔLE QUALITÉ – FIABILITÉ

- [E] CYLWIK Natalia Évaluation de l'aptitude à l'utilisation d'un système destiné à la gastroplastie par endoscopie pour le traitement de l'obésité, selon la norme IEC 62366-1 : 2015
- [E] FORGEUR Guillaume Développement d'une méthode de mesure de résistance au pelage de revêtements collés sur de la laine de verre
- [H] MULHONDI Musavuli Analyse de risques et sécurisation d'une enrobeuse
- [H] ROUFOSSE Thomas Etude et conception d'un module de lecture de Datamatrix gravés dans l'épaisseur de seringues en verre
- [G] WERTZ Florent Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité d'une ligne de production et étude de l'influence des conditions opératoires sur la qualité d'un hydrate à haut volume poreux.

8.3. SYSTÈME QUALITÉ – ENVIRONNEMENT – HYGIÈNE ET SÉCURITÉ

- [E] ELVETICI Benjamin Développement d'une plateforme de génération de système de management de la qualité pour fabricants de dispositifs médicaux

8.4. RENTABILITÉ DES INVESTISSEMENTS – GESTION DES COÛTS

- [G] CLERMONT Julien Optimisation et budgétisation de l'extension de l'atelier de production d'un artisan glacier
- [E] EL BOUSKLAOUI Ahmed Etude et dimensionnement HVAC d'un local technique HT et BT et élaboration d'un outil informatique dans l'optique d'obtenir une étude financière préalable
- [G] LEJOLY Julien Contrôle et réduction des déchets de production sur des lignes d'embouteillage PET
- [P] TAGUE DETA Conrad Etude de l'implantation du processus de constitution de faisceaux de câbles

[P] THIRY Nicolas Réduction des déchets résultant de problèmes de doublage sur des lignes d'extrusion

8.7. MANAGEMENT – STRATÉGIE – PROBLÈMES GÉNÉRAUX

[G] REALE Harisson Développement d'un département en automa-
tion.

[E] SIQUET Loris Remplacement d'un équipement industriel dans le cadre d'une approche d'industrie 4.0 dans le secteur aéronautique

[H] TCHAKOU NOUKE Martial Mise en place d'un plan de maintenance pré-ventive

9. INFORMATIQUE

9.1. ANALYSE – MODÉLISATION

[E] DE SCHIETÈRE DE LOPHEM Mathias À partir du choix d'un Framework de développement d'applications IPM, développer une interface Web d'acquisition de données et de contrôle d'une station d'instrumentation

[P] DELFOSSE Maxime Détermination des pressions de pneus d'un véhicule de course sur base d'analyse de la surface de piste.

[E] FRANCOIS Robert Etude algorithmique du calcul d'itinéraires sur un réseau routier dont les vitesses peuvent changer dynamiquement

[H] HÉRION Tristan Modélisation et validation numérique du dispositif de retenue BPL80

[E] MIEL Jonathan Réalisation et gestion d'un service de digitalisation pour les commerçants dans l'Horeca

[E] RUYSSSEN Martin Analyse et élaboration d'un sous-modèle de maintenance prédictive sur un cyclone ® Kiube de chez IBA

[E] SING Martin Design and implementation of a dashboard for GOA-UVa aerosol measurement station

[H] VAN DEN BOSSCHE Rémy Etude de l'influence de l'ajout d'une lisse de protection pour motocycliste PASS+CO sur une barrière Desami BRL104

[E] VANDERMEERSCH Thomas Amélioration des analyses temporelles et multidimensionnelles sur des données provenant de capteurs IoT et stockées dans une base de données MongoDB

[H] VANDERSLEYEN Nicolas Simulation numérique d'un crash test de bus de 13 tonnes contre une barrière de sécurité routière Tubosider BPL58A

9.2. PROGRAMMATION – LOGICIELS – SYSTÈMES D’EXPLOITATION

- | | | |
|-----|-------------------|--|
| [P] | CONRATH Sacha | Standardisation et génération de programme automate dans un système de contrôle distribué |
| [H] | DEMOULIN François | Développement d'un software de simulation My Autonomia. Conception d'une application qui fournit des informations générales et individualisées en faveur de l'autonomie et de l'inclusion des personnes en situation de handicap |
| [E] | HERINNE Gaëtan | |
| [G] | LEJEUNE Thomas | Conception d'un outil informatique permettant d'établir une stratégie de course automobile |
| [G] | LOPEZ Julian | Full-stack SharePoint Integration in Salesforce |
| [E] | TRIPS Jérémy | Développement d'une interface graphique pour la génération de variante aérospatial sous le standard SMP2 |
| [G] | VANDELOISE Pierre | S-Series training production line |
| [G] | XHONNEUX Thomas | Caractérisation des performances d'une application de détection et de suivi de cibles pour un hardware spécifique |

9.3. TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES

- | | | |
|-----|--------------------|--|
| [E] | AMADOU Bilal | Caractérisation du handtracking d'un casque VR dans le cadre de l'évaluation de la sévérité de la perte de la motricité du membre supérieur suite à un AVC |
| [E] | FISCHER Vincent | Extraction et traitement des mouvements du squelette d'une personne sur une vidéo RGB pour en garder la cohérence physique et temporelle |
| [G] | GERARD Damian | Développement et industrialisation d'une console de ralenti vidéo |
| [P] | HUMBLET Christophe | Détection par vision de particules dans des flacons de produit aqueux |
| [E] | VANDERMIES Charles | Développement d'une infrastructure de récolte de données concernant les séances de tirs sur stand et exploitation de ces données en Computer Vision |

9.4. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET SYSTÈMES EXPERTS

- | | | |
|-----|------------------|---|
| [E] | DELVAUX Thibault | Reinforcement Learning for game-played football |
|-----|------------------|---|

- | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--|
| [G] | MALENGRE Pierre-Yves | Usual Anomaly Detection Algorithms Comparison for Industrial Vision Data |
| [E] | VAN DEN NESTE Bastien | Détection d'anomalie sur des PCB en production sur base de computer vision et d'algorithmes de deep learning |
| [G] | VANDRESSE Lionel | Implementation of Artificial Intelligence in Data Validation and Reconciliation for the Detection of Outliers in Predictive Maintenance |
| 9.5. RÉSEAUX INFORMATIQUES | | |
| [E] | AMEEUW Basile | Utilisateurs simulés pour des entraînements et exercices en cybersécurité |
| [H] | DUTRY Guillaume | Participation au développement d'une supervision d'un data center |
| [E] | LEPRETRE Romain | Automatisation de la gestion d'un parc de routeurs de la marque MikroTik |
| 9.6. INFORMATIQUE INDUSTRIELLE | | |
| [G] | JAMAR Laurent | Gestion dynamique et intelligente des bornes de recharge pour véhicules électriques |
| [H] | SAUVAGE Nicolas | Développement d'un protocole de communication entre un profilomètre laser 2D haute cadence et un PLC |
| [G] | SNYDERS Antoine | Industrial Process Surveillance With Machine Learning |
| 9.7. BASE DE DONNÉES | | |
| [P] | LAURENT Marine | Développement de méthodes de data mining à des fins de maintenance de tourelles |
| [E] | LEMMENS Lucas | Development of a predictive model of physical activity for the telerehabilitation of patients with total knee or hip arthroplasty |
| 9.8. TECHNOLOGIE DE LA COMMUNICATION | | |
| [E] | BOUILLON Guillaume | Measuring and optimizing video player streaming profile algorithm |
| [E] | DE GROOTE Olivier | Modification de l'architecture de Kubernetes face aux défis amenés par le Edge Computing : Étude de faisabilité sur la gestion d'un essaim de drones |

10. MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

10.1. MÉTHODES NUMÉRIQUES ET ÉLÉMENTS FINIS

- [E] ARGYRAKIS Sélène Finite element analysis of mechanical and kinematic alignment approaches in total knee arthroplasty

11. MÉCANIQUE

11.1. MÉTROLOGIE ET INSTRUMENTATION

- [H] PETTEAU Charlie 3D scan & analysis of inclinometric data of the Beirut port's silos
 [H] PILOTTA Alexandre Optimisation du système de diagnostics des analyses d'huile au sein de l'entreprise I-care

11.2. FABRICATION MÉCANIQUE

- [E] CHAIBAN Temour Étude et réalisation du dispositif mécanique de translation du bras de balayage et de recherche
 [E] CISSE Mouhamed Dimensionnement d'un banc de test d'actionneur rotatif pneumatique appelé DRRD
 [E] COLLARD Alexandre Comparaison et détermination du procédé de coupe réduisant le risque traumatique des extrémités des fils Phynox d'une prothèse endovasculaire
 [E] DUMORTIER Antonin Conception et dimensionnement des systèmes d'actionnement des parties mobiles de l'aérostructure portante de l'avion bombardier d'eau Seagle
 [E] FETOUAKI Ilias Dimensionnement d'un banc de test d'actionneur rotatif pneumatique appelé DRRD
 [H] GUGLIONE Florian Poste de décontamination d'équipements (rotatifs) mécaniques démontés pour maintenance/révision en atelier
 [G] HUPPERTZ Matthias Étude technico-économique de l'huile de coupe Vasco 7000
 [G] IAPICHINO Gabriel Expérimentation d'un composant armurier par fabrication additive et étude de cas industriels portant sur la mise en place d'une nouvelle machine
 [E] LOSSEAU François Amélioration du système de pinçage pour optimisation de la tenue de bande en laminage à froid

[G]	LOUIS Marine	Développement d'un outil permettant l'analyse et la vérification de récipients sous pression selon le code ASME, le code CODAP et la norme EN 13445
[E]	MARCOLINI Luca	Conception d'un banc de monitoring permettant de caractériser la qualité d'étalement du lit de poudre dans des process additifs
[H]	MILHOMME Léo	Développement d'un retourneur d'andain SP-30 MENART low cost
[E]	RIVIERE Stijn	Caractérisation de roulements à billes à destination de micromoteur à l'aide d'un banc d'essai et d'une modélisation analytique
[E]	VANDERMEULEN Guillaume	Réalisation d'une station de charge à induction pour un robot agricole

11.3. CONSTRUCTION DES MACHINES

[G]	BORGERS Thibault	Étude et conception technico-financière d'une scie à échantillons pour profilés en aluminium
[G]	COUTELIER Maxime	Mise en place d'une cellule de fabrication additive (WLAM) pour Titane grade 5
[P]	DÉOM Tristan	Etude et conception d'un nouveau système de rangement pour une nouvelle référence sur une presse d'emboutissage
[G]	DEPAS Pol	Mise au point d'un procédé de fabrication de pellets sur base de déchets issus de la production d'huile d'argan
[G]	DORTU Julien	Conception d'un outillage pour emboutissage à froid dans le cadre de l'optimisation d'un échangeur de chaleur
[H]	DUBUISSON Thomas	Conception d'une machine automatisée d'ouverture de sachets de frites
[E]	EL AISSAOUI Omar	Etude et conception d'un processus de traitement chimique de greffons
[G]	FRANCO SANCHEZ Laurent	Développement d'un véhicule autonome sur rails
[G]	LEBOUTEILLER Clémence	Conception mécanique et électronique d'une orthèse cruro-pédieuse intelligente
[G]	LEDURE François	Conception et réalisation de dispositifs dérouleur, et enrouleur-dérouleur, de câbles caténaux
[G]	LEJEUNE Mathieu	Préparation d'une Porsche 911 et d'une Toyota Yaris GR en version compétition.
[G]	LIEBAUT Aubry	Etude et conception d'un système d'éjection de maillons destiné au secteur de la défense
[H]	LUST Anthony	Implementation of a predictive maintenance system on a combine harvester

[P]	MATERNE Florian	Conception d'équipements permettant l'imprégnation des toiles de renforcement des pneus sans formol
[G]	MATHIEU Hadrien	Étude et conception d'une navette de transfert suspendue et automatisée entre deux bâtiments
[P]	MOUSTAOUI Mohamed	Retrofit du filtre presse d'une station d'épuration
[G]	PIERRET Sébastien	Développement et validation d'un châssis d'arrimage pour turboréacteur CFM56-7B
[E]	SAUCEZ Adrien	Conception d'un équipement destiné à produire des blocs avec des déchets
[G]	SCAPIN Nicolas	Conception d'une rampe de chargement pour véhicules ferroviaires

11.4. TECHNOLOGIE – PRODUCTIQUE

[H]	HENNEKENS Anthony	Amélioration du système de déchargement d'un convoyeur tubulaire à chaîne
[G]	KOHNEN Joé	Optimisation du processus d'industrialisation par l'implémentation d'un système PDM
[H]	LECLERCQ Rémi	Intégration d'un tour multibroche et de son système de récupération de pièces
[P]	SELECK Adrien	Augmentation de la capacité d'une ligne de calandrage fabricant du film PVC

11.5. MAINTENANCE

[H]	LASSER Nicolas	Optimisation du système de diagnostics d'équipements industriels à partir de leurs données vibratoires
[P]	MARKHAM Noé	Optimisation des systèmes de maintenance au sein d'une usine de production de feuilles de cuivre
[G]	MORRIER Louis	Optimisations techniques et organisationnelles du processus global de graissage dans la cimenterie CBR Lixhe
[H]	WILLEMART Jérémie	Étude de faisabilité et de coûts de l'installation d'un système de commandes à distance de pompes thermiques
[E]	ZAHIR Chafik	Étude et optimisation d'indicateurs de maintenance et identification de nouveaux indicateurs d'état d'installations techniques

12. MÉCANIQUE DES FLUIDES ET THERMODYNAMIQUE

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

- | | | |
|-----|-------------------------|--|
| [E] | DE VLAEMINCK Mathieu | Développement d'un standard pour des installations de chaufferies bois en conteneur maritime |
| [G] | HEINDRICHS Lucas | Réalisation d'un outil de dimensionnement de pompes à chaleur et de stockage thermique alliant plusieurs technologies renouvelables pour maximiser l'autoconsommation et l'autosuffisance d'un site industriel |
| [G] | LUCA Hugo | Audit énergétique Collège Sainte-Croix Projet Herman |
| [G] | MERCIER Gaston | Analyse et amélioration énergétique de l'école Saint-Joseph de Herve |
| [E] | TCHUDJO KAMGUIA Wilfred | Préchauffage des boues d'une station d'épuration à partir de l'énergie thermique d'une cogénération fonctionnant au biogaz |

12.2. PRODUCTION ET TRANSFERT D'ÉNERGIE CALORIFIQUE OU FRIGORIFIQUE

- | | | |
|-----|--------------------|--|
| [G] | BORREY Antoine | Comparaison énergétique, environnementale et financière de trois installations frigorifiques utilisant du dioxyde de carbone et de l'ammoniac comme fluide frigorigène dans le secteur du froid commercial |
| [P] | CULOT Emilien | Revamping d'une installation frigorifique avec un fluide naturel |
| [G] | GRANDRY Christophe | Étude de la valorisation de l'énergie perdue lors du recyclage de l'hydroxyde d'alumine |
| [E] | KELECOM Madeleine | Optimisation énergétique des productions de chaud et de froid via un ensemble de PAC du CHC MontLégia |

12.3. INSTALLATIONS DE CONDITIONNEMENT D'AIR – CHAUFFAGE

- | | | |
|-----|-------------------------|--|
| [H] | BAIDOURI Hakim | Optimisation énergétique du bâtiment de VMA Druart à Jumet |
| [H] | BRUYÈRE Pierre-Emmanuel | Study and instrumentation of an air handling unit with indirect evaporative cooling (IEC) |
| [H] | CLOESEN Gillian | Etude des méthodes de production de chaleur sur un campus scolaire, centralisation ou décentralisation ? |

- [G] DEHUY Quentin Étude de l'installation d'une zone d'aspiration dans un atelier peinture et étude de son impact sur la chauffe du bâtiment
- [H] FONZI Giulia Optimisation de la consommation énergétique dans le domaine des salles propres durant le mode "hors occupation"
- [H] GABRIEL Simon Dimensionnement et réflexion énergétique de piscine olympique.
- [H] HERBINIAUX Florent Analyse d'alternatives de producteurs de chaleur pour la serre à climat tropical de Pairi Daiza
- [H] LEJEUNE Victor Etude de l'impact d'un score BREEAM outstanding sur les techniques spéciales dans le cadre d'une rénovation d'un immeuble de bureaux
- [H] MURATORE Anthony Optimisation et automatisation de la note de calcul pour le dimensionnement d'une salle propre
- [H] REDA Nicolas Création d'un utilitaire Excel simplifié permettant la comparaison de producteurs de chaleur en résidentiel
- [G] TROUPIN Antoine Rénovation de la zone Salons-Restaurant-Cuisine du Parlement Européen : étude et suivi du lot HVAC
- [H] VANCLAIR Pierre-Yves Etude comparative de solutions de chauffage pour immeubles résidentiels
- [P] WENKIN Thomas Etude et dimensionnement des techniques spéciales d'un immeuble résidentiel de 16 appartements

12.4. ÉNERGIES RENOUVELABLES

- [H] BARBIER Mathieu Etude du Plancher Solaire Direct et application sur le refuge du Nid d'Aigle
- [G] BERTRAND Nicolas Electrical heater for molten salt thermal storage solutions and its application to the Belgian market
- [G] JOSENTS Nicolas Mise en route d'un digesteur enterré à dôme fixe à l'usage ménager de l'école Kanura de Gihanga au Burundi

12.5. RÉGULATION ET GESTION DES INSTALLATIONS – PROCESSUS THERMIQUE

- [E] de WASSEIGE Guillaume Analyse sur base du monitoring de la pompe à chaleur des performances d'une installation géothermique dans une maison unifamiliale à Bruxelles

[E]	DEBRIGODE Thibault	Étude et optimisation d'un système de pompes à chaleur géothermiques
[H]	GABRIEL Pierre	Optimisation de la consommation énergétique d'un site industriel sur base d'un audit énergétique
[E]	KETBI Si Mohamed	Data center hydraulic efficiency
[H]	LAHAYE François	Revamping des caves d'affinage du fromage de Chimay
[H]	MARCHAL Mathias	Audit énergétique d'un data center
[H]	NGUYEN Florent	Optimisation d'une boucle de refroidissement au glycol
[H]	YERNAUX Maxime	Conception et implantation d'une installation de pompes à chaleur dans l'industrie

12.6. MACHINES THERMIQUES – THERMIQUE INDUSTRIELLE

[G]	MAILOT Martin	Etude de l'optimisation de la consommation de carburants pour les véhicules et engins de chantier et du potentiel d'amélioration de la gestion des énergies pour le groupe NONET
[G]	PEETERS Mathilde	Réflexion sur le combustible bois dans le cas du dimensionnement d'une chaudière pellets

12.7. HYDRAULIQUE – PNEUMATIQUE – AÉRODYNAMIQUE

[H]	DE VILLE DE GOYET Mortimer	Amélioration du système aéraulique du Glutton Collect
[E]	ESSAFI Zakariya	Amélioration du contrôle en vol d'un drone « attrape-drone » de type VTOL
[G]	HERTAY Guillaume	Etude technique, suivi organisationnel et financier d'un ensemble de réseaux de tuyauteries pour l'installation d'une nouvelle usine de production alimentaire
[G]	NGOUNOU ZINKOUE Ronald	Mesures statiques des efforts sur un profil NACA dans la veine de cavitation de la HES-SO Valais
[E]	THIEREN Dorsan	Étude et conception d'un système de détection incendie et d'extinction automatique hydraulique par sprinkler dans un bâtiment industriel

12.8. THERMIQUE DU BATIMENT

[G]	BIERBERG Gregory	Evaluation de la performance hygrothermique de connections pour murs auto-scillants en CLT
-----	------------------	--

- | | | |
|-----|------------------|--|
| [E] | BOUALKMA Safae | Développement d'une application de bâtiment virtuel permettant l'amélioration des outils d'audits énergétiques |
| [G] | GILLIARD Cédric | Développement d'un outil de calcul de la réduction des besoins en chaleur due à la modification de la régulation thermique du bâtiment |
| [G] | PIETTE Guillaume | Développement d'un outil de suivi et d'analyse automatique des consommations énergétiques des bâtiments et étude de cas |
| [G] | SEQUARIS Aurélie | Développement des différents outils d'un bureau d'études en Techniques Spéciales et en Énergie |

13. PHYSIQUE

13.3. PHYSIQUE DE LA MATIÈRE

- | | | |
|-----|----------------|--|
| [G] | RUWET Nicolas | Caractérisation de procédé de fabrication additive (SLM) de matériaux ferromagnétiques et caractérisation magnétique |
| [G] | YENNIS Laurent | Characterization of materials including at cryogenic temperature for high energy physics |

13.4. AUTRES

- | | | |
|-----|--------------------|--|
| [E] | DEMUYSER Gautier | Electron beam tuning simulator in the Rhodotron, improvement and model validation |
| [G] | QUODBACH Guillaume | Caractérisation de l'auto-inflammation de l'hydrogène adduit par injection directe |

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

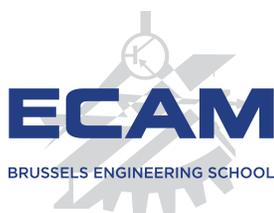
Le Père Laurent CAPART s.J., Messieurs Benjamin BERGER (ECAM), Mikaël DHEN (ECAM), Joël VOISIN (HELHa), Thomas ANDRIEN (HELMo-Gramme) et Vincent HANUS (HENALLUX - Pierrard).

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



ÉCOLE D'INGÉNIEURS
Pierrard

HELHa
Haute École Louvain **en Hainaut**



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

D/2023/7362/4001