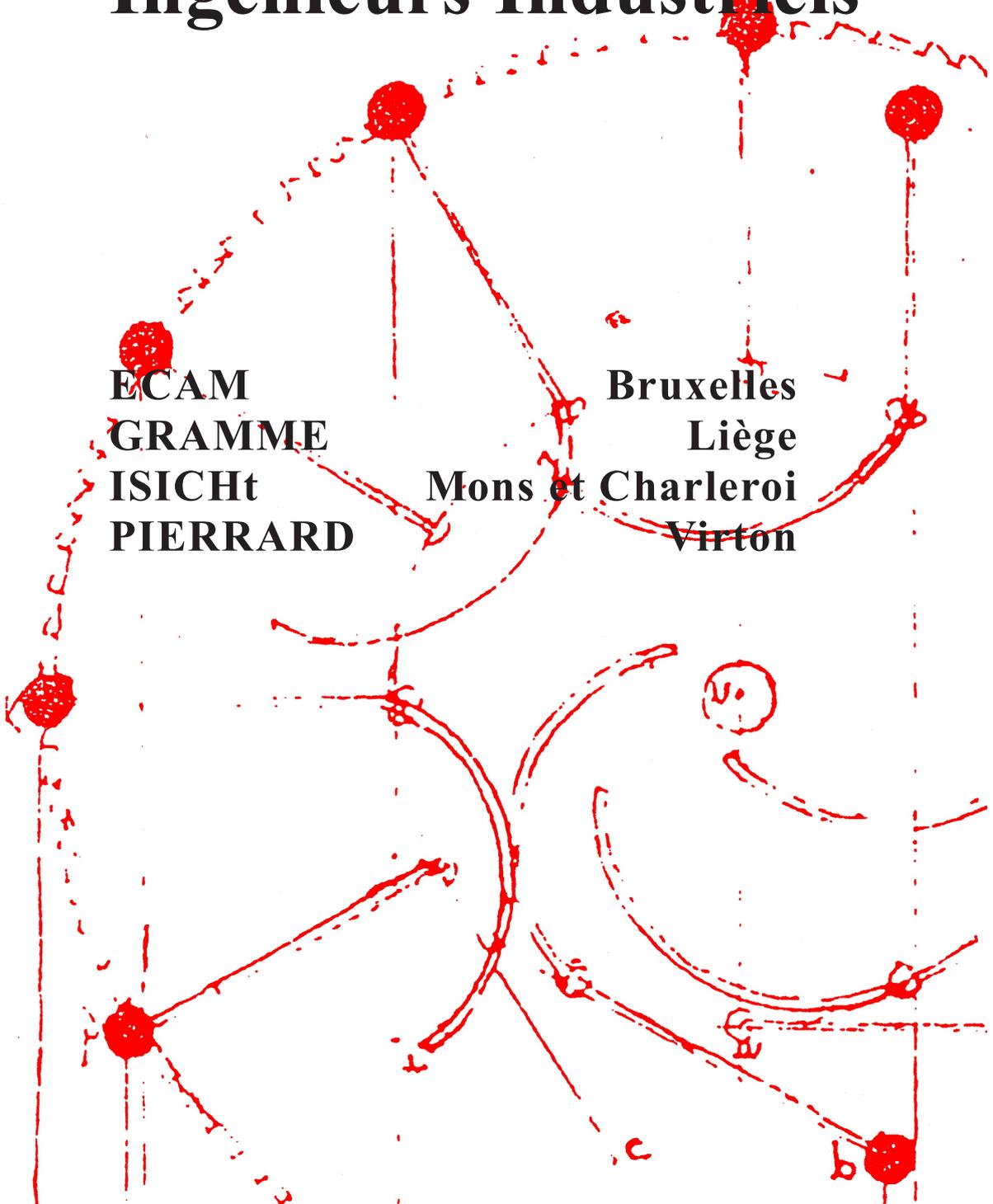


Revue Scientifique  
des  
**Ingénieurs Industriels**

**ECAM  
GRAMME  
ISICHT  
PIERRARD**

**Bruxelles  
Liège  
Mons et Charleroi  
Virton**



Edition n° 34  
décembre 2020

Revue scientifique n°34 – Décembre 2020



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

**ECAM  
GRAMME  
ISICht  
PIERRARD**

**Bruxelles  
Liège  
Mons et Charleroi  
Virton**

**Edition n° 34 – Décembre 2020**  
**[www.isilf.be](http://www.isilf.be)**



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

**ECAM**

*Haute École ICHEC-ECAM-ISFSC*

Promenade de l'Alma, 50

1200 BRUXELLES

Tél : +32 (0)2/541.48.50

[www.ecam.be](http://www.ecam.be)

Fax : +32 (0)2/541.48.59

E-mail : [secretariat@ecam.be](mailto:secretariat@ecam.be)

**GRAMME**

*Haute École Libre Mosane*

Quai du Condroz, 28

4031 ANGLEUR (LIEGE)

Tél : +32 (0)4/340.34.30

[www.helmo.be/gramme](http://www.helmo.be/gramme)

Fax : +32 (0)4/343.30.28

E-mail : [gramme@helmo.be](mailto:gramme@helmo.be)

**ISICHT**

*Haute École Louvain en Hainaut*

Chaussée de Binche, 159

7000 MONS

Tél : +32 (0)65/40.41.46

[www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel](http://www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel)

Fax : +32 (0)65/34.04.52

E-mail : [tech.mons@helha.be](mailto:tech.mons@helha.be)

Grande-Rue, 185

6000 CHARLEROI

Tél : +32 (0)71/41.94.40

[www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel](http://www.helha.be/master-en-ingenieur-industriel)

Fax : +32 (0)71/48.92.29

E-mail : [tech.mons@helha.be](mailto:tech.mons@helha.be)

**PIERRARD**

*Haute École de Namur-Liège-Luxembourg*

Pierrard, rue d'Arlon, 112

6760 VIRTON

Tél : +32 (0)63/58.89.40

[www.henallux.be/ingenieur-pierrard](http://www.henallux.be/ingenieur-pierrard)

Fax : +32 (0)63/57.67.62

E-mail : [ingenieur.virton@henallux.be](mailto:ingenieur.virton@henallux.be)

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

Éditrice responsable : V. DE KEYSER  
Secrétaire générale de la FédESuC  
Avenue Mounier, 100  
1200 BRUXELLES  
Tél : +32 (0)2/256.70.51  
Fax : +32 (0)2/256.70.55

Prix : 10 euros.

*Page de couverture : roue à mouvement perpétuel (Léonard de Vinci)*



## Éloge du doute chez les ingénieurs industriels

En février 2020, comme dans beaucoup d'autres institutions, les étudiants ingénieurs de Gramme avaient l'occasion de faire leur voyage de fin d'étude : une centaine d'étudiants, accompagnés de leurs enseignants, répartis dans une dizaine de pays. À ce moment, le coronavirus était « une petite grippe », bien loin de chez nous, en Asie ou en Italie, régions dont les « conditions sanitaires et médicales » ne pouvaient pas être comparées aux nôtres.

En passant outre cette affirmation pour le moins douteuse, nous avons alors contacté le SPF Santé afin d'identifier les mesures sanitaires à prendre au retour des étudiants. La réponse qui nous avait été donnée était que nous devons attendre le retour des étudiants et si l'un d'eux venait à présenter des symptômes grippaux majeurs, alors seulement un testing pourrait être envisagé. La seule certitude que nous avons cependant alors était que certains porteurs de la COVID-19 pouvaient être asymptomatiques : ce qui nous a donc été proposé à l'époque était de laisser revenir sur un campus de 2.000 personnes, situé au cœur du tissu urbain liégeois, potentiellement, des bombes à fragmentation...

Le terme, bien qu'excessif, n'est cependant pas galvaudé. La problématique du coronavirus, outre bien sûr les aspects médicaux et les dommages qui s'en suivent et que nous nous garderons bien de décrire tant ils sont du domaine médical, est bien son type de propagation, exponentielle. Ce type de phénomène est pourtant connu de longue date et expliqué par des modèles mathématiques éprouvés, qu'il a fallu un certain temps à faire accepter à tout un chacun.

Il peut alors être utile aujourd'hui, au regard de cette expérience passée, de relire le mythe du Brahmane Sissa, pour explorer la puissance des phénomènes mathématiques, et plus singulièrement celui de la propagation. Cette légende raconte l'histoire d'un roi légendaire des Indes, Shihram, qui cherchait à tromper son ennui. Il promit une récompense à qui lui proposerait une distraction. Le sage Sissa, lui présenta alors le jeu d'échec, qui enthousiasma le souverain. Le Roi demanda alors en retour à Sissa ce que celui-ci souhaiterait en échange de ce cadeau si extraordinaire. Sissa demanda alors au roi de déposer simplement un grain de riz sur la première case, deux sur la deuxième, quatre sur la troisième et ainsi de suite pour remplir l'échiquier en doublant la quantité de grain de riz à chaque case. Le monarque, surpris de cette demande si modeste, lui accorda immédiatement cette récompense. Le lendemain, le conseiller du roi vint lui annoncer la mort du royaume car les récoltes de l'année ne suffiraient pas pour satisfaire au prix octroyé. Sur la dernière case, ce ne sont pas moins de  $2^{63}$  grains qu'il aurait fallu déposer, et au total de l'échiquier  $18,4 \cdot 10^{18}$  grains,

près de 1.000 fois la production mondiale de riz ou l'équivalent de 30 fois le PIB mondial actuel.

Si l'histoire du sage et savant Sissa nous montre à quel point celui qui maîtrise les notions mathématiques peut se jouer facilement d'un quidam, il ne faut pas perdre de vue le pouvoir prédictif des phénomènes décrits par les mathématiques, ni leurs capacités à nous guider vers une vie meilleure, lié à la philosophie même de leurs origines. Aristote considérait d'ailleurs les mathématiques, non comme une discipline de la vérité, mais de type esthétique et social.

Car au-delà de cette évidence sur la nécessité d'acquérir un esprit scientifique, dans nos apprentissages, quelle place laissons-nous respectivement aux savoirs, (maîtrise du langage formel des mathématiques) et à la présentation de ces savoirs (intérêt réel, personnel, que l'on prend à considérer l'usage et la portée de ces formalisations) dans le processus de formation de la pensée ? C'est en effet bien là tout l'enjeu et la particularité de ce qui est demandé aux ingénieurs, et tout particulièrement aux ingénieurs industriels, pour lesquels la recherche se veut avant tout appliquée et contextualisée : savoir transcender la connaissance et l'usage des outils mis à sa disposition, qu'ils soient mathématiques ou autres, afin de permettre de répondre non seulement aux exigences de nos sociétés, mais aussi et surtout permettre l'évolution de celles-ci pour un futur que l'on espère plus durable. Il est en effet significatif d'observer que les premiers à avoir attiré l'attention sur les risques liés à la propagation du coronavirus étaient autant issus des sciences appliquées, que de la sphère médicale.

On serait en effet tenté de croire que les mathématiques sont une discipline de la pensée qui ne se confronte pas avec le réel, tant elles font recours à l'abstraction et la conceptualisation. Mais si les mathématiques sont un langage indispensable pour une description de la physique, ce sont les sciences de la nature qui ont conduit au développement interne des mathématiques. Nous ne citerons à titre d'exemple que les séries de Fourier qui résultent de la résolution de l'équation de propagation de la chaleur, et qui est au cœur de toutes les problématiques liées aux modifications climatiques actuelles, ou encore la géométrie riemannienne qui est née des incohérences apparentes des cartographies des ressources énergétiques de la Terre.

Par ailleurs, quand le savoir est utilisé sans présentation de ces savoirs, cette connaissance peut se transformer en croyance ; elle n'est alors plus vectrice de créativité et d'innovation, mais devient au contraire dogmatique et potentiellement porteuse de contre-vérité. Ainsi, Hubert Reeves disait : « Je n'ai aucune preuve de l'existence de Dieu mais aucune preuve de sa non-existence. Ce que je remarque d'ailleurs, c'est que toute preuve est inutile aux croyants. Chercher une preuve est vain. La croyance n'est pas la rationalité. »

À ce jour, nous observons pourtant autant d'éminents scientifiques adeptes d'une technicité qui devrait solutionner tous nos problèmes climatiques, sociaux ou environnementaux, que de prudents penseurs privilégiant le retour à plus de sobriété ou de frugalité pour diminuer nos empreintes environnementales. Sans doute la vérité est-elle au milieu de cela, et c'est guidés par l'adéquation et la pertinence de leurs connaissances que les étudiants ingénieurs, les diplômés, qu'ils soient jeunes ou expérimentés, pourront apporter aujourd'hui et demain des propositions pour nous sortir des crises qui ne manqueront pas d'arriver dans les prochaines années.

La sociologie a par ailleurs identifié 3 systèmes politiques mis en place pour tenter de solutionner nos défis actuels, dont les 2 derniers illustrent bien les batailles d'experts actuelles :

1. Système correctif : Je pollue, mais je dépollue après. Les écotaxes en sont issues. Mais le risque est de dire « je paie pour dépolluer, DONC, je peux polluer » ou alors « tu ne pollues rien, de manière à ce que MOI je puisse polluer » ...
2. Système préventif ou le triomphe de la connaissance : grâce au savoir scientifique, il sera possible d'anticiper et d'éviter tout problème et c'est ce qui a conduit chez nous à la politique des permis d'environnement. Mais depuis lors il y a eu Tchernobyl, le WTC, Fukushima ou même dernièrement Notre-Dame de Paris. L'homme ne peut malheureusement jamais tout anticiper...
3. Système anticipatif ou désenchantement du savoir absolu : puisque nous ne pourrions jamais tout anticiper, il est nécessaire que le risque puisse être pris en compte. C'est ce qui se passe chez nous avec la politique de développement des antennes GSM ou la stratégie des CEM : comme on ne connaît pas encore bien les interactions entre les différentes ondes, il est préférable de ne pas les multiplier. Mais le corollaire de ce système est que l'incertitude peut aussi mener à de l'inaction. Or la sérendipité a permis la découverte de la radioactivité, de la pénicilline ou du téflon...

Il nous reste à en inventer un quatrième, qui, comme le développement durable, se situera à l'isobarycentre de ces différents systèmes : celui de « **l'éloge du doute** ». Nietzsche disait : « ce n'est pas le doute, c'est la certitude qui rend fou ». La certitude, en rendant fou, rend barbare. La doute, méthodique, décrit par Descartes, devient voie d'accès à une connaissance exacte.

Je gage dès lors que les recherches présentées dans cette présente brochure auront la pertinence du propos scientifique, développeront l'adéquation des résultats pour nos sociétés, mais auront aussi l'humilité du doute, qui permet de toujours recommencer, évoluer, ... Alors, nos formations d'ingénieurs industriels seront plus que jamais au cœur des attentes et les recherches qui y seront développées auront l'humilité intellectuelle, la tolérance et l'empathie dont nous avons tant besoin.

Ir Anne-Michèle JANSSEN  
Directrice de HELMo Gramme



## TABLE DES MATIERES

<b>Éditorial : Éloge du doute chez les ingénieurs industriels</b> <i>par A.-M. JANSSEN</i>	
<b>Development of a high frequency response temperature sensor for turbulent flow based on a cold wire,</b> <i>par E. GILLYNS, P. HOVINNE, S. BUCKINGHAM</i>	1
<b>La mise à niveau d'une CPU,</b> <i>par R. FAYS, C. LIBERATORE</i>	7
<b>HAZOP/SIL study of industrial process,</b> <i>par C. COPPIN, Y. LECLERQ, V. VAN ROOST</i>	13
<b>Scanner 3D sur chantier oui mais, pourquoi et comment ?</b> <i>par F. VANDENSTEEN, V. DIDRICHE, C. HUENAERTS</i>	21
<b>Test Rig Development for Dual-Fuel Combustion Characterization in Optical Constant-Volume,</b> <i>par J. QUOIDBACH, A.P. CARLUCCI, C. CHARLIER</i>	27
<b>Reconversion d'une friche industrielle : Reconnaissance de Périmètre de Remembrement Urbain du site « Tournai 1 : Business Park » à Tournai,</b> <i>par B. FERRANTE, C. HUENAERTS</i>	33
<b>Acoustic coupling and directivity control,</b> <i>par C. DEMARD</i>	39
<b>Développement d'une architecture multistandard pour l'IoT,</b> <i>par E. VETS</i>	45
<b>Mise en œuvre d'une attaque par analyse de la consommation de puissance d'un circuit intégré de chiffrement AES et implémentation d'une contre-mesure,</b> <i>par T. ANIZET, N. MARCHAND, L. LERMAN, F. DURVAUX</i>	51

<b>Ammonia Plant: Modelling on VALI 5,</b> <i>par A. HOUBEN, N. MONFORT, C. CHARLIER</i>	59
<b>Optimisation du dimensionnement de conduites de chauffage,</b> <i>par F. HUAUX, V. HANUS</i>	65
<b>Design and Modeling of Multilevel Converter for Drivetrains and Stationary Applications,</b> <i>par A. BOUCQUEY, F. DEFRANCE, M. MONEM, O. HEGAZY</i>	71
<b><u>LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES</u></b>	77
1. Automatique	
2. Chimie	
3. Construction	
4. Electricité	
5. Electronique	
6. Environnement	
7. Géomatique	
8. Gestion	
9. Informatique	
10. Mathématiques appliquées	
11. Mécanique	
12. Mécanique des fluides et thermodynamique	
13. Physique	
<b><u>Remerciements</u></b>	100



# Development of a high frequency response temperature sensor for turbulent flow based on a cold wire

Ing. E. GILLYNS – Ing. P. HOVINE – Dr S. BUCKINGHAM  
ECAM – Bruxelles

## 1. Introduction

These days, an increasing number of projects involving fluid dynamics rely mostly on numerical simulations rather than experiments, as it is much more flexible and easy to implement for specific cases. The most widely used method is a simulation based on RANS-equations<sup>1</sup> due to its low cost, where only the average flow field is computed, while all fluctuations are modelled by using turbulence models. These turbulence models rely themselves on experimental data for validation, it is therefore essential to be able to measure thermal quantities with great accuracy.

To be able to validate these models thermally, the type of experiment will determine the type of sensor required, with few characteristics such as range, reliability, response speed, etc. In experiments with thermally turbulent flow, the temperature fluctuations can easily reach frequencies up to 1 kHz. Currently, the fastest thermocouple available is limited to a frequency response of 75 Hz, due to its thermal inertia, hence the need for a sensor capable of capturing frequency content up to one order of magnitude higher.

This document will proceed with the development of a temperature sensor with these capabilities. Since it is based on a non-heated resistive wire, it shall be named "cold-wire". As the illustration on Figure 1 suggests, the exposed wire will be facing the flow to measure its temperature, and the electronic board will acquire the measured signal.

---

<sup>1</sup> RANS : Reynolds averaged Navier Stokes equations



*Figure 1 : Illustration of the cold wire temperature sensor*

## 2. Static behaviour

*A body placed in an environment will interact with its environment until they reach a thermal equilibrium.*

Using this thermal property of matter, it is safe to assume that the temperature of the cold wire placed in any flow will follow its temperature (up to a certain speed). The next physical property used here is the linear relationship between the temperature of the wire and its electrical resistance as expressed in the equation :

$$R_w = R_{ref}(1 + \beta(T_w - T_{ref})).$$

Using an electronic circuit to measure accurately the resistance of the wire, one can deduce its temperature, hence the temperature of the flow. The underlying hypothesis states that heat produced by Joule effect is neglected, which has been proven experimentally to be true. The experimental campaign shows this relationship to be linear at 99.98%, for flow velocities ranging from 1 to 25 m/s and temperatures ranging from 18°C to 80°C. The sensor can withstand much greater temperatures and velocity (explored up to 140°C) which are not covered here.

## 3. Physical Dimensions

To get a better understanding of the sensor, the wire will have the following dimensions attached to two prongs as illustrated in Figure 2 :

- Diameter : 2.5  $\mu\text{m}$ .
- Length : 0.5 mm.
- Material : Platinum coated tungsten.

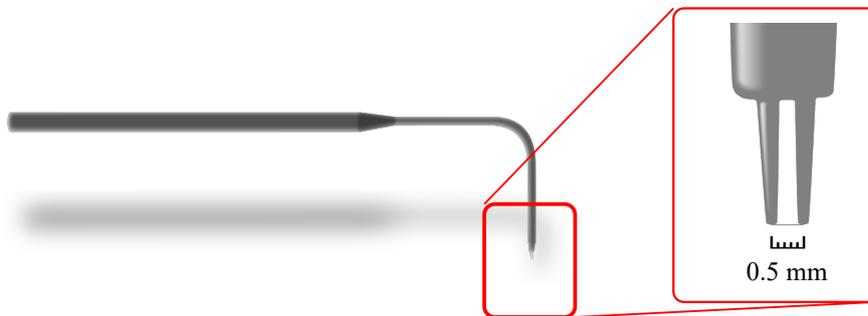


Figure 2 : Cold wire temperature probe

#### 4. Dynamic behaviour

The phenomena acting on the wire, resulting in its dynamic behaviour are convection between the fluid and the surface of the wire, and the conduction from the surface to the centre of the wire. Since the electrical resistance measured is global, the temperature explored shall be global too. This allows the problem to be simplified using the lumped capacitance approximation by theoretically placing a control volume around the object as illustrated in Figure 3.

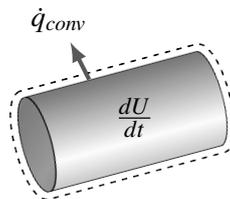


Figure 3 : Theoretical cold wire, as studied in a control volume

The Experimental data shows that the prongs have a significant impact on the overall response which slow down the response time of the sensor. As such, it can only capture fluctuations up to 100 Hz. Since the specifications require to capture fast fluctuations, a compensation can be applied in post-processing to boost its response time to 1 kHz. Comparing this to the fastest available thermocouple (12  $\mu\text{m}$  in diameter), the recorded fluctuations improve significantly. An illustration both in time-based and frequency-based can be seen in Figure 4. The energy cascade seen in the power spectrum is of great interest for some applications.

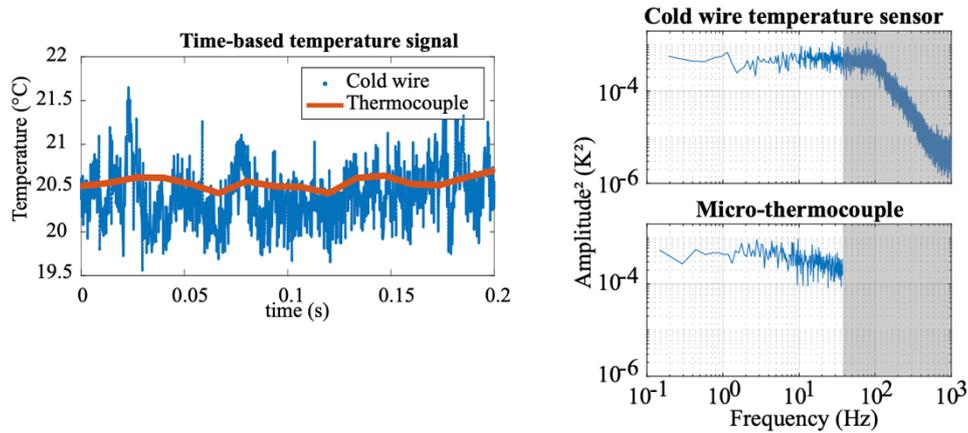


Figure 4 : Comparing cold wire vs. thermocouple, in time-based and power-spectrum

The hereby presented sensor is a temperature sensor with great characteristics for validating RANS simulation models as it captures a lot of thermal fluctuations that are needed for this application.

To conclude the development of the sensor, both static and dynamic response have been explored. For the static characterisation the experiment fit the theory at 99.98% (using the parameter  $r^2$ ), which is satisfactory and confirms the proposed hypothesis. For the dynamic response, the hypothesis of neglecting the conduction of the prongs cannot be used as observed experimentally, but all the other hypothesis are valid. The explored time parameter did not match perfectly the theory, but remains in the same order of magnitude, the uncertainty on the diameter of the wire can explain this phenomenon. Finally the compensation is based on experimental results, making it as accurate as the measurements for the sensor used.

Due to the material used (platinum coated tungsten), it can be theoretically used up to 1700°C (if the other components of the mechanical structure can withstand this temperature), even though the conducted tests were done up to 140°C. With the adjustable range and offset of the electronic board, the sensibility can be adjusted to fit the use case.

The great advantage of this technique over some others such as a micro-thermocouple, is its faster response. The cold wire temperature sensor is capable of capturing fluctuations up to 100 Hz without compensation, and 1 kHz with compensation in post-processing.

The disadvantage of this sensor is its fragility due to the small diameter of the wire. This is absolutely required to provide a low inertia, hence a high frequency response. It is therefore suited for clean gaseous flow.





# La mise à niveau d'une CPU

Ing. R. FAYS – Ing. C. LIBERATORE  
PIERRARD – Virton

## 1. Introduction

Dans le monde de l'industrie, l'obsolescence ainsi que l'arrêt de production et de vente par les fournisseurs ne permettent pas d'obtenir les mises à jour des logiciels. Ce problème pourrait causer un risque de panne plus fréquent, ce qui provoquerait une diminution de la production, donc une perte d'argent. L'obsolescence touche en grande partie les différents composants électroniques utilisés dans l'automatisation, dont les automates. Il est donc essentiel de maintenir à jour les différents composants. Or, le changement d'un automate ne peut s'effectuer chaque fois sans encombre. Pour réduire le risque de problèmes lors du changement d'un automate (ou plus spécifiquement de son processeur), une étude minutieuse doit être effectuée avant le changement.

## 2. Migration d'un automate

### 2.1. Anticipation de la migration

En industrie, le changement d'un composant doit être anticipé [1] afin de ne pas interrompre la production durant une durée trop élevée. Dans le cas des automates, cette anticipation peut se remarquer soit par une détérioration du composant et donc une multiplication du nombre de pannes, soit par une annonce de la part des fournisseurs. Dans le deuxième cas, il est dès lors possible de définir le moment où le changement de l'automate sera nécessaire. Les fournisseurs indiquent généralement l'automate de remplacement. Ce n'est cependant pas toujours le cas, ou l'entreprise n'a peut-être pas la possibilité d'utiliser cet automate conseillé. Dans ce cas, une étude doit être organisée afin de choisir le meilleur automate de remplacement, de s'assurer du bon fonctionnement du nouvel automate et de n'intervenir qu'un court instant lors du changement pour que la machine soit à l'arrêt le moins de temps possible.

## 2.2. Bilan de l'installation

L'intérêt du bilan de l'installation est de vérifier la version des différents modules présents dans l'automate, de voir si l'obsolescence est présente ou risque de se produire dans les quelques années à venir et de voir s'il est nécessaire de modifier certains modules.

La configuration matérielle indique le type de cartes utilisées, le nombre d'entrées et de sorties réellement nécessaires, si un rack est suffisant ou s'il est nécessaire d'en introduire un ou plusieurs, si d'autres modules sont utilisés, comme par exemple un module permettant l'utilisation de la communication Ethernet ou autres. Divers types de modules sont utilisables dans la configuration matérielle :

- Le processeur : il s'agit de l'unité centrale de traitement, également appelée CPU. C'est ce composant qui exécute le code du programme, gère les unités de calculs logiques et arithmétiques, stocke les données, ... Il représente donc l'élément principal de l'automate.
- Le système d'alimentation : il peut être intégré dans la CPU. Dans le cas contraire, il est nécessaire d'introduire ce module afin d'alimenter le système.
- Le coupleur : il permet l'utilisation de racks (ou châssis) parallèles dans le cas où le rack est complet. La nécessité de l'utilisation d'un coupleur est donnée par les caractéristiques du processeur et du nombre de modules supplémentaires à intégrer. Une boucle sera alors créée pour permettre la communication entre les différents racks.
- Les modules de signaux : ces modules sont composés d'entrées et/ou de sorties digitales et/ou analogiques. Ils sont utilisés dans le cas où le module CPU, qui contient certaines fois des entrées et sorties intégrées, n'en contient pas ou pas assez pour l'application visée.
- Les modules de réservation : ces modules réservent des emplacements pour des modules de signaux non paramétrés. Ils sont présents dans le cas où le programme de l'automate sera modifié dans le futur. Il s'agit donc d'un rôle de prévention.
- Les modules de fonction : les modules de fonction sont des modules permettant de réaliser des fonctions de comptage, de fréquencemètre, de positionnement, de régulateur, ... Il est possible que ces fonctions soient intégrées au processeur comme par exemple la CPU « 314 IFM » qui contient des compteurs intégrés.
- Les modules de communication : ce type de modules permet d'établir différentes sortes de liaisons comme par exemple Profinet, Profibus, Ptp. Ils sont utilisés en tant qu'ajout au processeur (si celui-ci ne contient pas le type de communication désirée) ou en tant que complément (si par exemple plusieurs communications de type Profinet sont nécessaires mais que le processeur ne possède qu'un seul port).

Dans le but de choisir une CPU efficace répondant aux besoins de la machine, il faut préalablement connaître les caractéristiques de l'automate initialement utilisé et les différentes fonctions réalisées. Il est ensuite nécessaire d'étudier les caractéristiques des différents processeurs proposés par les fournisseurs.

### 2.3. Remplacement

Pour n'intervenir qu'un court instant sur la machine et donc bloquer l'utilisation de celle-ci par les opérateurs le moins de temps possible, il faut vérifier plusieurs paramètres, ainsi que préparer le changement. En effet, dans certains cas, il n'est pas possible de trouver un automate possédant exactement les mêmes caractéristiques. Le choix du nouvel automate est donc une étape minutieuse. De plus, certaines modifications logicielles doivent être apportées afin d'avoir les deux CPU fonctionnant de la même façon.

#### *Caractéristiques de l'automate*

Grâce au bilan de l'installation, on peut retrouver les caractéristiques de l'automate et surtout son utilisation. En effet, le choix du nouvel automate dépend de celui initialement utilisé.

- Dans les caractéristiques, on retrouve tout d'abord la mémoire de travail ainsi que la mémoire système. Il s'agit en fait de la mémoire pour l'exécution du programme et de la mémoire qui contiendra les données de la machine.
- De plus, les dimensions de l'automate peuvent être une contrainte dans le choix. En effet, certains automates sont inclus dans une armoire électrique avec d'autres composants. La place de l'automate peut donc être limitée.
- Ensuite, le nombre d'entrées et de sorties de l'automate est un facteur qui peut être négligé s'il est possible d'utiliser un module de signaux supplémentaire.
- Les fonctions intégrées à l'automate doivent également être prises en compte s'il n'est pas possible de trouver un automate intégrant ce module de fonction.
- La vitesse de traitement de l'information peut également être importante. Dans le cas où les CPU n'ont pas les mêmes vitesses de traitement des informations et si des calculs sont réalisés en prenant en compte la vitesse de traitement, les données utilisées doivent être adaptées. Par exemple, lors du démarrage d'un moteur sans utiliser de temporisation mais uniquement une incrémentation en fonction de la vitesse de traitement (par exemple, on augmente la vitesse de rotation de 10 tours/min à chaque fois qu'on lit le code jusqu'à atteindre 100), il faut adapter les paramètres d'incrémentation du nouvel automate pour qu'il fonctionne comme l'initial.
- Enfin, la compatibilité avec les autres équipements et les autres modules doit être vérifiée. Par exemple, un HMI (Human Machine Interface) permettant la communication entre un opérateur et une machine est utilisé, il n'est peut-

être pas compatible avec tous les automates. Il est dès lors important de vérifier au préalable la compatibilité de l'automate choisi avec les différents composants déjà installés. Cette compatibilité peut être donnée par les fournisseurs directement (via les fiches techniques). De plus, certains logiciels indiquent également si tous les composants sont compatibles ou non. Certains fournissent même quels autres composants seraient idéaux.

### ***Éléments supplémentaires***

Ensuite, la nouvelle CPU peut nécessiter certaines spécificités supplémentaires comme l'utilisation d'un logiciel de programmation différent ou encore l'utilisation d'une carte mémoire.

### ***Connexion***

Il est également primordial de vérifier que la connexion entre l'automate et l'ordinateur peut s'effectuer. Cela permet de vérifier le bon fonctionnement de l'automate ainsi que de réaliser certains tests. Pour ce faire, il est préférable d'utiliser un programme basique avec la CPU seule (sans autres modules supplémentaires), car le test est effectué sur une CPU seule. L'automate se mettrait en défaut s'il n'était pas connecté au reste des modules.

### ***Modifications logicielles***

Lorsque le nouvel automate choisi ne correspond pas entièrement à l'initial (notamment au niveau des fonctions intégrées), certaines modifications au niveau du code doivent peut-être être apportées. Pour ce faire, il faut tout d'abord comprendre le fonctionnement des parties à modifier et réaliser des tests sur le nouvel automate avant l'installation pour vérifier que celui-ci fonctionne exactement comme l'initial. De plus, certains paramètres au niveau du logiciel doivent être modifiés si le logiciel ne le fait pas automatiquement. Par exemple, en remplaçant un automate par un autre, la position des fonctions intégrées peut différer. Il faut donc éventuellement modifier l'adressage des fonctions pour qu'elle corresponde au nouvel automate.

### ***Préparation***

Enfin, avant de commencer le changement physique de la CPU, il est utile de créer un mode opératoire reprenant les différentes étapes de branchement. En général, les connexions de l'automate final restent identiques par rapport aux connexions de l'automate initial afin de ne pas confondre les broches des deux automates et d'éviter des changements inutiles. Dans le cas où il n'est pas possible de garder les mêmes assignations, il est préférable de bien noter le changement des connexions. Enfin, pour faciliter le changement et si un problème de confusion surgit dans le changement, il est judicieux d'étiqueter les câbles de l'automate. Le document reprenant toutes les caractéristiques précédentes permet de switcher plus rapidement les CPU et donc de perdre moins de temps. Un deuxième document reprenant les étapes de

retour en arrière doit également être créé si un problème apparaît lors du changement ou si l'automate ne fonctionne pas comme souhaité.

### 3. Conclusion

L'obsolescence des composants est un réel problème pour les entreprises au niveau de la production. Elle doit être anticipée soit par l'annonce des fournisseurs de l'arrêt de production du composant, soit par la détérioration et donc une augmentation du nombre de pannes.

Lors du changement de composants électroniques, une étude minutieuse au préalable est nécessaire afin de réduire le temps de modification si un problème survient, ce qui engendrerait un coût. Une fois les paramètres vérifiés, le changement peut s'effectuer. Il est également nécessaire de préparer minutieusement une modification sur une machine comme un mode opératoire à suivre, ainsi qu'un retour en arrière en cas de problèmes.

Enfin, une fois les composants changés fonctionnels, il est primordial de garder des composants identiques en stock pour permettre le changement rapide en cas de dysfonctionnement du composant.

### 4. Source

- [1] Industrie & Technologies (consulté le 8 janvier 2020), *Automates programmables : les clés d'une migration réussie*  
Adresse URL : <https://www.industrie-techno.com/article/automates-programmables-les-cles-d-une-migration-reussie.20931>



## **Etude HAZOP/SIL de l'unité de granulation au sein de Yara Tertre**

*Cet article fait suite à une première expérience dans l'industrie Seveso seuil haut et explique le fondement de la méthode HAZOP, un des moyens les plus utilisés dans l'analyse du risque au sein du monde industriel, notamment dans le domaine chimique. Afin d'aller plus loin et d'innover, la méthode HAZOP est couplée à la méthode LOPA permettant d'obtenir l'HAZOP/SIL, permettant d'ajouter une notion de semi quantification. Différents principes sont également abordés comme le diagramme de Farmer, le modèle du fromage suisse, la méthode LOPA ou encore la quantification SIL.*

*Mots-clés : Analyse de risque, HAZOP, SIL, LOPA, Défaillance de barrières.*

*This article follows a first experience in the Seveso high threshold industry and explains the basis of the HAZOP method which is one of the most used methods in the industrial world risk analysis, especially in chemical industry. In order to go further and innovate, the HAZOP method is coupled with the LOPA method to obtain HAZOP/SIL, adding a notion of semi-quantization. Different principles are also discussed such as the Farmer diagram, the Swiss cheese model, the LOPA method or the SIL quantification.*

*Keywords : Risk analysis, HAZOP, SIL, LOPA, barrier failure.*

Ing. C. COPPIN  
Ing. Y. LECLERCQ  
Ir. V. VAN ROOST  
Ecole d'Ingénieurs, HELHa Mons

## 1. Introduction

In general, the production of mass resources is a necessity today in order to provide for our needs. In order to always be able to produce more and more, especially in the field of chemistry, it is necessary to ensure that an acceptable risk is maintained. This is why it is important to know the basics of industrial process risk analysis and to know how to build databases and risk quantification calculations. The chemical industry covered in this article is not without risk, as several examples of disasters are well known to date, which should encourage us to draw lessons from the past, such as the disaster at the AZF plant in Toulouse or, more recently, the Lubrizol incident in Rouen. Regardless of your professional orientation or your industrial activity, you will probably be confronted with risk analyses in your career.

## 2. Introduction to industrial safety

Before talking about industrial safety, it is necessary to talk about risk and barriers. Risk is the combination of the *frequency* of occurrence of the final consequence of an event with its *severity*. Thanks to the Farmer diagram, it's possible to imagine the definition of risk because an accident/incident that is very serious but not very frequent has the same risk as a frequent but not very serious phenomenon.

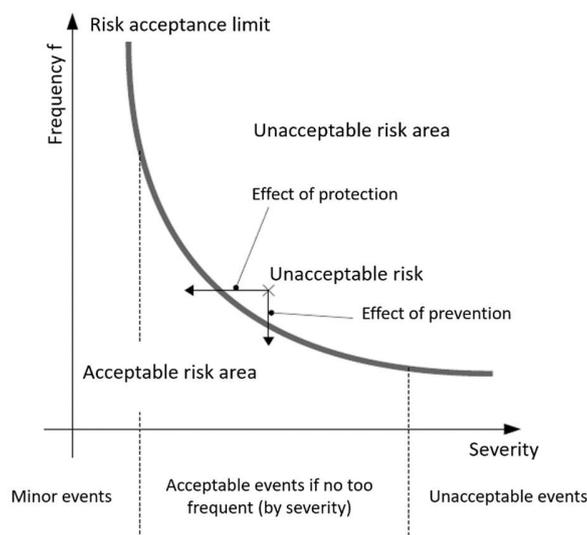
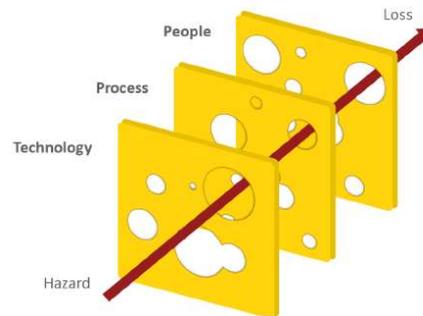


Figure 1 : Farmer's diagram

The Swiss cheese model provides a general and simplified picture of industrial safety. In the Swiss cheese model as in the HAZOP/SIL study, a deviation of the system occurs leading to an accident or incident that can be quantified by its risk (frequency and severity).



*Figure 2 : Model of James Reason's Swiss cheese*

The danger is a deviation from the industrial process such as a heat source. On the way to this deviation leading to a dreaded final event, there are barriers. There are different types of barriers like people, process and technology. The name of this model comes from the fact that each barrier can fail at any given time and each barrier can prevent the scenario from unfolding. This consequence only occurs if the deviation is not stopped by the barriers, in the other words if the barriers are all failing at the same time. The more barriers there are and the more effective they are, the lower the residual risk will be. The risk analysis method that is detailed in this article is the HAZOP/SIL method which can be divided into different parts, creation of the list of scenarios, determination of the risk level required and barriers installed.

### 3. HAZOP method

The HAZOP method was developed by Imperial Chemical Industries in 1974. The aim of this method is to study the causes and consequences that could arise from system deviations. It is a method that makes it possible to imagine scenarios that could damage the integrity of equipment and injure workers. To make the link with the Swiss cheese model, causes are before swiss cheese layers and consequences are after all barriers. The realization of HAZOP requires great resources because it must be carried out in a **multidisciplinary team** and with prior preparation such as the gathering of documents on designs or the understanding of control loops.

The HAZOP method is based on system deviations. Deviations are the combination of a keyword with a physical parameter. The main keywords are: *more, less, as well as, part of, other than, reverse, not*. When combined with a physical parameter such as *temperature, pressure or flow rate*, a deviation is obtained.

The next step is to investigate the causes for each deviation. It is important for each deviation to find as many causes as possible because the purpose of a risk analysis is to be as complete as possible. The causes can be multiple; human error is often highlighted by the opening or closing of manual valves, regulation problems by sensor or valve failure that can lead to *more flow, less flow, no flow or even high temperature or less temperature* in the case where the flow is steam.

Once a cause has been identified, it is necessary to find the consequences of the deviation on the system. To do this, it is mandatory to **never consider preventive or protective barriers** that could reduce the risk. The aim here is to assess the consequence that could be obtained in the event that all barriers fail. **The ultimate goal of risk analysis is to compare whether the risk reduction that is present in the process is sufficient compared to that required, so it is necessary to study the risk without the barriers to start with.**

#### 4. Safety Integrity Level

In order to understand how risk is quantified, it is necessary to become familiar with SIL levels. They quantify a risk by linking it to a risk reduction factor. The SIL level can have values from 0 to 4 where 0 represents a risk that could be considered acceptable and 4 represents the highest risk. In fact, the SIL 0 doesn't mean that the scenario never needs a barrier. It depends on the company risk matrix because if the frequency or the severity is too high, HAZOP/SIL team has to recommend a barrier.

*Table 1 : SIL levels*

SIL	RRF – Risk Reduction Factor
1	10 to 100
2	100 to 1000
3	1000 to 10 000
4	10 000 to 100 000

The SIL level is used to quantify the risk by having the means to evaluate and compare. Two types of SIL levels must be distinguished:

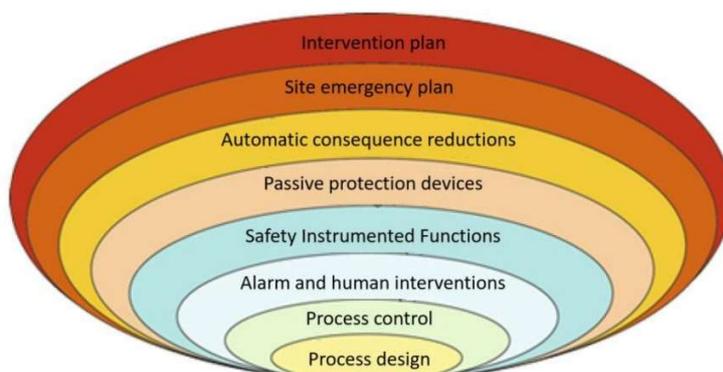
- The required SIL represents the risk reduction factor that is needed to be provided in order to obtain an acceptable risk. It is calculated by not considering any barrier in the process in order **to have an objective to achieve**.
- The installed SIL is the risk reduction factor that is present in the process for the scenario studied in HAZOP and must be compared to that required. This time, it defines the risk reduction provided by the barriers in the process.

## 5. LOPA method

After having discovered how to create scenarios with the HAZOP method and how to calculate the risk reduction factor to be provided for each scenario requiring quantification. The final step is to be focused on the evaluation of barriers for each scenario represented by cheese slices in the Swiss cheese model. The Layer Of Protection Analysis (LOPA) method is used to classify the barriers and therefore to quantify the risk reduction factor present in the plant for a studied scenario, in the other words the installed SIL.

In the LOPA method, there are eight different layers that reduce the risk by using either prevention or protection. The first layer corresponds to the design of the equipment or the presence of elements such as vents. The next two layers fit into the BPCS (**B**asic **P**rocess **C**ontrol **S**ystem) which in one case regulates and in a second one provides an alarm. The fourth barrier has a completely different logic because it is the SMS (**S**afety **M**anagement **S**ystem) which secures the installation above threshold values via SIF (**S**afety **I**nstrumented **F**unction). The following barriers are the rupture discs, valves and retention cups and finally the evacuation plans.

Four concepts are necessary to understand the barriers that can be considered in a risk analysis. Each barrier has to be specific, auditable, independent and dependable. Moreover, it is essential that the barriers must be considered as **I**ndependent **P**rotection **L**ayers (IPL), because if one of the two barriers fails, it is not certain that the second one will not be. So an alarm and a regulation are not entirely independent because they have the BPCS in common. Evacuation plans are not considered effective because they are not easily quantified.



*Figure 3 : Classification of barriers with the LOPA method*

In order to estimate the risk reduction factor present in the installation, it is necessary to use the probability of failure of the barriers identified in the HAZOP scenarios. To do this, it is possible to calculate the failure probabilities of SIF barriers with mathematical formulas given by the IEC 61508-6 standard. For simpler barriers, it is necessary to refer to values present in the literature or available through feedbacks. Looking to the previous table, just simply matching the failure probability of each HAZOP barrier gives the installed SIL of each barrier. The total installed SIL is none other than the sum of the installed SIL because each barrier must fail to observe the final consequence as seen previously in the Swiss cheese model. If the SIL installed for a specific scenario is not enough, the team has to take recommendations to improve the residual risk.

## 6. Conclusion

First of all, the results obtained with a HAZOP/SIL study on an industrial process provide a large number of scenarios. With HAZOP, it is possible to make a list of the barriers that needs be checked later because all HAZOP barriers, as mentioned above, must be checked and controlled. The risk analysis can also provide a file that probably after processing allows to know the impact of safety override that are sometimes necessary in a plant.

The HAZOP/SIL method still has a major disadvantage. Indeed, the preparation of all documents and the updating of P&IDs requires a considerable amount of time. In addition, each line should normally be carried out during meetings with everyone's opinions and ideas. It is still possible to save a significant amount of time by preparing HAZOP meetings in advance. Thanks to the HAZOP preparation it was possible to carry out a risk analysis on a complete industrial unit for example.





# Scanner 3D sur chantier oui mais, pourquoi et comment ?

Ing. F. VANDENSTEEN – Ir. V. DIDRICHE– Ir. C. HUENAERTS  
ECAM – Bruxelles

## 1. Introduction

Depuis plusieurs années, le marché de la construction voit apparaître des entreprises offrant des services de relevés en trois dimensions à l'aide de scanners. Ces solutions permettent en effet de mesurer, en un temps très court, un grand nombre d'informations. Cependant, faute de connaissance dans le domaine, l'utilisation de ce type de technologie reste limitée dans le domaine de la construction.

Cet article a pour but de comprendre quels sont les enjeux et la plus-value que peut apporter une telle technologie dans le domaine de la construction.

## 2. Le scanner 3D

### 2.1. Le principe

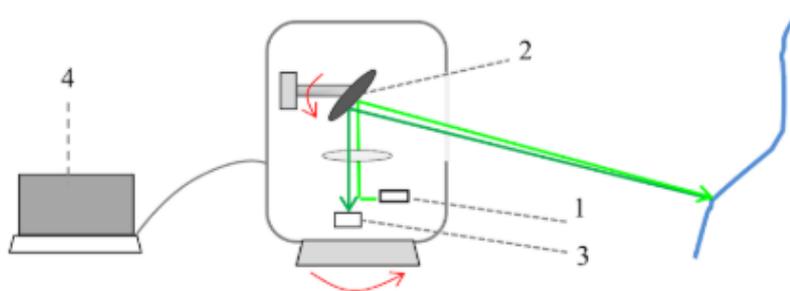


Figure 1 : schéma simplifié d'un scanner laser (Chandelier, 2014)

Le principe général de l'appareil est assez facile à comprendre :

- un laser émet une source lumineuse (1)
- au même moment, un capteur note virtuellement le temps de départ.
- Le rayonnement émis, réfléchi par le miroir rotatif (2), est envoyé vers le point ciblé et se réfléchit sur le premier obstacle.

- Une fois réfléchi le faisceau laser revient sur le miroir et arrive sur un récepteur (3) où le temps est noté. Par algorithme, en connaissant le temps de propagation  $t$ , l'angle horizontal et l'angle du miroir, il est possible de déterminer les coordonnées X, Y, Z du point à partir des coordonnées sphériques ( $\rho$ =distance,  $\theta$ =angle verticale,  $\varphi$ =angle horizontal). On verra par la suite qu'une valeur d'intensité du signal retour est aussi enregistrée. Toutes ces données sont ensuite stockées dans la mémoire interne de l'appareil (4). Le balayage se fait de manière verticale et ensuite l'appareil pivote d'un certain angle horizontal et recommence son cycle vertical. Une fois la prise de points effectuée (d'une durée moyenne d'une minute), celui-ci peut prendre une série de photographies de manière à coloriser le nuage de points lors du post-traitement. Chaque point a alors une valeur de couleur RGB (Red, Green, Bleu).

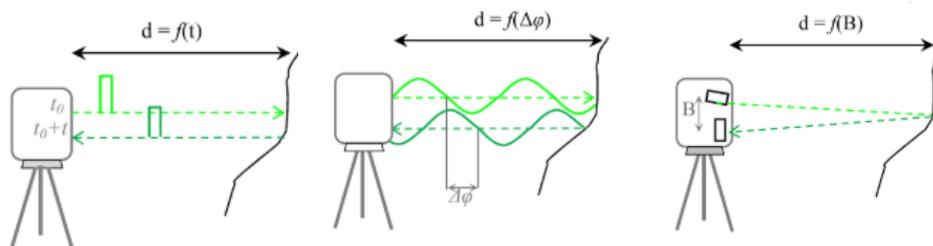
## 2.2. Le type de mesure

Les appareils de mesures présents sur le marché n'ont pas tous la même technique d'acquisition. Il en existe 3 types :

Le scanner à impulsions

Le scanner à différence de phases

Le scanner à triangulation.



Dans tous les cas, ces appareils utilisent des faisceaux lasers pour acquérir des mesures. À l'heure actuelle, les appareils présents sur le marché combinent les 3 techniques pour augmenter leurs performances.

## 3. La photogrammétrie

Une autre technique d'acquisition est la photogrammétrie. Cette technique de prise de mesure consiste à prendre des clichés et à les restituer à l'aide d'un logiciel pour créer :

- Des couples de photos stéréographiques (vues 3D)
- Des nuages de points (similaire au résultat par lasergrammétrie)
- Des orthophotos (photographies)

Pour obtenir des résultats valables géométriquement, il est nécessaire d'utiliser un appareil photo réglable manuellement et un logiciel de traitement orienté photogrammétrie.

#### 4. Le traitement de l'information

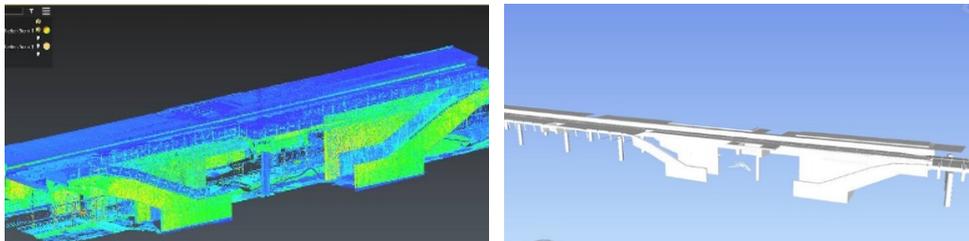
Une fois l'acquisition terminée, celle-ci doit généralement être traitée pour obtenir une information complètement exploitable. On parlera alors de modélisation. De cette modélisation, on pourra tirer des informations pour la suite du chantier.

Voici quelques exemples tirés d'un article du CSTC (O. Vandooren, 2016) :

- Réaliser un métré et calculer le prix
- Etablir un cahier spécial des charges
- Effectuer des études de stabilité
- Etudier les techniques spéciales
- Identifier et traiter les conflits éventuels (croisement d'une poutre et d'une gaine de ventilation, par exemple)
- Préparer le planning d'exécution
- Garantir la conformité à la réglementation et aux normes en vigueur
- Analyser le cycle de vie ou l'impact environnemental

La modélisation peut se faire avec un niveau de détail adapté à la finalité du travail. Ce niveau de détail (LoD) est généralement défini par un chiffre (100 à 500 ou 1 à 5) où au plus le chiffre est grand, au plus les éléments seront modélisés en détail.

On passe alors d'une représentation sous forme de nuage de points à un modèle avec un niveau de détail défini (LoD 200 dans l'exemple ci-dessous)



#### 5. Quels sont les objectifs poursuivis lors d'un scanner 3D ?

Un scanner peut servir diverses finalités. Il est dès lors important de connaître l'objectif recherché.

#### **Avoir un contrôle**

Dans le cas d'un contrôle d'un lot complexe tels qu'une gare, un fond de fouille ou même un projet de rénovation, il est fortement conseillé d'avoir un relevé réalisé à l'aide d'un scanner 3D. Cela permet d'avoir la situation telle qu'elle est réceptionnée. (le modèle est quasi exhaustif.)

Par exemple :

- Le contrôle planéité
- Le comparatif plan VS exécution
- Le contrôle d'autres lots

#### **Utiliser une maquette**

À l'heure du BIM et de la virtualisation, le scanner d'une structure existante permet de créer un modèle

**On peut aussi utiliser le scan 3D pour :**

- Analyser les états d'avancement du chantier
- Proposer une visite virtuelle
- Fournir un plan As Built

## **6. Conclusion**

À la suite de ce travail de fin d'études, nous avons pu remarquer que le scanner 3D connaît un véritable essor dans le monde du travail des géomètres mais aussi un intérêt tout particulier pour l'entreprise générale de construction.

Numériser le chantier, avoir recours à l'utilisation de scanners 3D sur un chantier c'est bien, mais est-ce nécessaire de le faire pour chaque site de construction dont l'entreprise est responsable ?

Une série de questions et de critères a été émise afin d'aider l'entreprise mais surtout le personnel de chantier à prendre la décision. Un scanner donner-t-il un meilleur résultat qu'une autre technique d'acquisition ? Le résultat répondra-t-il à mes attentes ? Ce sont bien entendu des éléments de réflexions. Il se peut qu'avec l'expérience, d'autres éléments décisionnels viennent s'y ajouter.

A la suite de ce travail de fin d'études, nous nous retrouvons avec un schéma décisionnel permettant d'analyser diverses situations. Cela permet de choisir ou non l'utilisation d'un scanner 3D mais aussi de se rendre compte de la plus-value qu'une telle solution de prises de mesures peut apporter sur un chantier. Ceci a d'ailleurs été démontré pour une analyse de situation pour la gare de Malines. Sans le recours à une telle technologie, le relevé de situations tel qu'il a été fait avec le scanner 3D n'aurait pas été possible. La quantité d'informations n'aurait pas non plus été suffisante que pour réaliser un bon modèle.





# Test Rig Development for Dual-Fuel Combustion Characterization in Optical Constant-Volume

Ing. J. QUOIDBACH – Dr A.P. CARLUCCI – Ir C. CHARLIER  
UNIVERSITÀ DEL SALENTO – Lecce  
HELMo-GRAMME – Liège

## 1. Introduction

Dual-fuel combustion is seen as a very promising technology. In fact, it allows to couple the characteristics of two different fuels. It has shown significant potential in reducing emissions such as nitrogen oxides and soot, while maintaining good diesel conversion efficiency compared to the current conventional engine. These two fuels can be possibly selectable from renewable fuels, both liquid and gaseous, so contributing to CO<sub>2</sub> reduction. The most investigated dual-fuel combustion is the one coupling diesel fuel and methane.

Despite the undoubted advantages associated with this combustion, some drawbacks still remain unsolved. These are mainly engine operation during idle and low engine loads as well as engine knocking tendency at full load with high natural gas substitution rates. The objective is to improve diesel combustion by reducing NO<sub>x</sub> and soot production without increasing the quantity of CO and HC released. Therefore, a more in-depth understanding of the phenomena controlling dual-fuel ignition and combustion processes is required to further improve engine performance.

The goal is to design and implement an experimental test rig for a constant-volume combustion chamber that allows engine-like conditions to be reproduced as accurately as possible. Then, perform dual-fuel combustion tests to study the fundamental principles of this technology. In order to provide more analysis tools, the constant-volume combustion chamber is equipped with an optical access.

In this work, similar conditions characterizing the engine operation are reproduced with a first combustion of a lean air-methane mixture. Then, methane is injected into the chamber to reproduce the engine-like operating conditions in terms of overall equivalence ratio. In order to ensure or evaluate the reliability of the tests, care is taken to characterize the methane injector. And particularly the reproducibility of the

first combustion, which has a direct impact on the initial conditions on dual-fuel combustion.

To control the objectives, temperature, timings and mainly the different pressures are the key parameters in the control and analysis of the process.

## 2. Setup of the constant-volume combustion vessel

As previously mentioned, a system for the measurements is needed. It is one of the main parts of the work which has to be accurately described. It is used for all the measurements to achieve in the different conditions prescribed by the parameters we want to consider and described later as split injection and so on. We have to understand that figure 1 is a final system which has been developed and modified after the different problems which have been met. The test rig is mainly constituted by the optical constant-volume vessel, which is the central part of the picture and the different systems to measure temperatures, pressures. As well as the different valves for the different injections of the different fuel, air and exhaust. Also the necessary glow plugs to preheat the mixture and a spark plug to ignite the mixture. And the sources of fuels, here pure methane and commercial diesel.

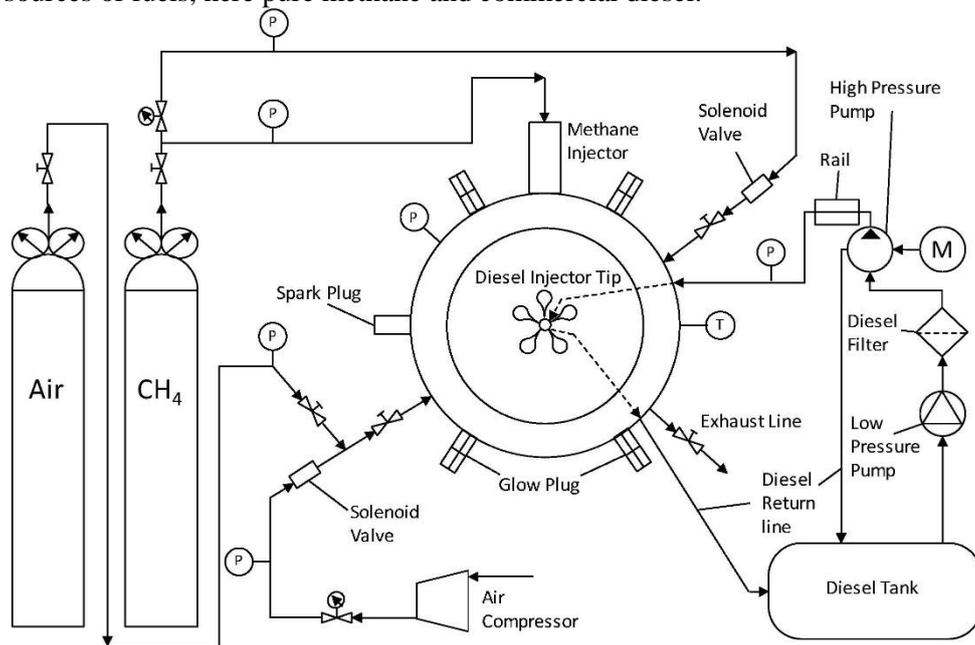


Figure 1 : schematic installation

## **3. Experimentation**

### **3.1. Leakage tests**

To ensure the best possible sealing of the chamber, all openings must be checked, between each fitting. The pressure order in the chamber at the time of the first combustion is 30 barg.

### **3.2. Characterisation of methane injector**

The technical data sheets and the current literature do not allow us to have a precise value of the mass of methane introduced in the chamber. The objective is to be able to link the pressure difference in the chamber during an injection to the number of moles of methane injected and thus the mass.

### **3.3. First combustion**

Controlling the combustion of the methane-diesel-air mixture is important to know the initial conditions and to control them. The future objective of this part is to study the behaviour of the first combustion composed exclusively of methane and air and ignited by a spark plug.

### **3.4. Dual-Fuel combustion**

To analyse and test dual-fuel combustion, several approaches and tools have been developed.

#### ***Analysis with ignition delay and combustion duration***

The results give, although relatively constant, a tendency can generally be observed. When there is only diesel or the mixture specific ration is low, the ignition time is low too. Between these two conditions, the ignition time increase.

#### ***Split injection***

When combustion is lean, there is little or no combustion in the centre of the combustion chamber. In order to reduce the number of unburned parts, an injection separation approach is considered.

#### ***Analysis with high-speed camera***

To have a better optical control of the combustion, a high-speed camera is required.

***Heat Release Rate (HRR)***

In both cases analysed, the simple injection releases more heat than the split injection. The peak variation is also more drawn and stable.

***Region of combustion***

The purpose is to quantitatively compare the brightness of a given region in the chamber during combustion.

**4. Limits****4.1. Engine-like condition**

It is important to realize that the reproduction of engine-like condition in a constant volume combustion chamber is not really ideal, induction swirl and squish compression are unfortunately not reproduced.

**4.2. Diesel injector**

In order to reproduce a condition similar to an engine being operated at low load, the diesel injector must be used at low pressure and with a relatively low energizing time.

**4.3. Brightness of combustion**

Thanks to the camera it is possible to differentiate between the two combustion events in split injection, which is impossible for the naked eye.

**5. Conclusion**

The purpose of this work was to develop a test rig for a constant-volume combustion chamber in order to characterize ignition and combustion phenomena in the context of dual-fuel combustion with diesel and methane. An installation was already existing thanks to previous works. Research to improve and control it has therefore been carried out.

A leak analysis showed that the combustion chamber resists a pressure of 30 barg and even slightly more for events such as combustion. Tests on the characterization of the methane injector were conducted to control the amount of methane introduced into the combustion chamber according to the injection conditions. A key point of this work has been obtain a controlled and reproducible first combustion in order to be able to initiate the dual fuel combustion, under similar engine-like conditions between each test.

A high-speed camera has allowed the understanding of some phenomena but is still limited in the analysis of some results. Post-processing and analysis tools have been developed and results obtained. The results obtained so far do not allow many new conclusions to be drawn on a more in-depth understanding of dual-fuel ignition and combustion phenomena. Nevertheless, the test rig can be considered as functional and can be improved by further tests.



# **Reconversion d'une friche industrielle : Reconnaissance de Périmètre de Remembrement Urbain Site « Tournai 1 : Business Park » à Tournai**

Ing. B. FERRANTE – Ir. C. HUENAERTS  
ECAM – Bruxelles

## **1. Préambule**

### **1.1. Problématique des friches**

Aujourd'hui, il est indispensable de comprendre la nécessité de réhabiliter les vieilles habitations ainsi que les friches industrielles afin de minimiser l'occupation des sols. Jusqu'à la fin de XXème siècle, les zones urbaines se développaient beaucoup plus vite que les zones rurales. Aujourd'hui, la tendance s'inverse avec une croissance bien plus grande de la démographie dans les petites communes en comparaison des plus grandes. Ce phénomène appelé « périurbanisation » est donc une extension des villes vers les communes limitrophes. Un enjeu primordial de notre ère est d'attirer de nouveau la population vers les centres fortement urbanisés, afin de préserver nos zones rurales, agricoles et vertes.

### **1.2. Cas de Tournai 1 « Business Park »**

Le site de Tournai Business Park occupe plus d'une dizaine d'hectares avec pour plus de la moitié, des halls industriels. L'affectation comportera une zone urbanisable avec pour objectif d'apporter une réelle attraction du centre de l'agglomération de la part des habitants de la périphérie. Elle comportera également une zone d'activité économique mixte, pouvant accueillir des entreprises des secteurs tertiaires et autres. L'aspect culturel étant également primordial, certains événements seront organisés au sein des infrastructures. Le site présente également une zone d'affectation industrielle mais est dans les faits, une zone verte. C'est dans cette zone que sera privilégiée la nouvelle affectation urbanisable (figure 1).

## **2. Plans de situation**



### **3.2. Autres périmètres juridiques**

Le périmètre se situe en zone d'aléa d'inondation faible. Des mesures de prévention doivent être prises pour la conception d'un projet urbanistique. D'autres mesures de prévention sont nécessaires car le site est en zone de prévention IIb suite à la présence d'une zone de captage à proximité.

Un forage a été réalisé en 1951 pour étudier les différentes couches présentes sur le site. Etant donné la proximité avec le cours d'eau, le limon et le sable sont présents en couches supérieures. Le calcaire apparaît plus profondément mais aucune zone à risque karstique n'est recensée. Il est tout de même recommandé de réaliser des forages supplémentaires pour s'en assurer.

Dans la partie sud du périmètre, il existe un Périmètre de Reconnaissance Economique. Ces périmètres regroupent l'ensemble des zones pour lesquelles la commune désire développer un projet afin de réhabiliter leur centre-ville. Cela permet également de motiver le propriétaire à développer son site afin de ne pas subir une expropriation.

## **4. Situation existante**

### **4.1. Caractéristiques physiques**

Le site étudié se situe entièrement dans la vallée urbanisée de l'Escaut tournaisien et ses carrières. Caractérisé par une forte urbanisation ainsi qu'une activité de carrière importante, l'activité industrielle ainsi que les zones agricoles se côtoient au sud de cette région. Lorsque l'on quitte le centre-ville au sud, l'urbanisation se rarifie le long des voies de communications principales. Au sud du site étudié, à moins de 200 mètres, commence le territoire du Bas-plateau d'Ath et Soignies. Ce dernier se caractérise par un paysage dominé par l'agriculture et les prairies. Les habitats sont répartis en villages parsemés dans la région.

Si l'on regarde à l'échelle locale, on observe que le périmètre étudié est bel et bien dans le territoire urbanisé (composé de l'agglomération habitée et de l'exploitation industrielle des carrières au sud), proche des plaines du bas plateau d'Ath (composé d'agriculture et de plaines).

En ce qui concerne l'occupation du sol, il en existe plusieurs. La plus importante est la zone d'activité économique abritant les différentes entreprises représentant 65% du site (mixte entre des bureaux et bâtiments industriels). Dans la partie sud, une zone verte pratiquement inchangée depuis plusieurs siècles couvre un peu plus de 35 % du périmètre.

### **4.2. Caractéristiques humaines**

Lors du choix du type d'urbanisation de la zone étudiée, il est primordial de tenir compte des caractéristiques humaines de la région. Pour cela, une étude est réalisée sur l'évolution de la population, la pyramide des âges, l'offre et la demande en logements ou encore le levé des différentes activités économiques du quartier. Cela permet de créer une offre adéquate à la demande et à la réalité de la région.

## **5. Plans et visualisation du projet**

La visualisation du projet est primordiale pour en faire la promotion. Pour ce faire, différentes étapes doivent être respectées dans la conception d'un projet. J'ai donc conçu différents plans qui représentent le relief, l'affectation, la masse ou encore la gestion des eaux du site :

- Plan topographique : implanter au mieux le projet par rapport à la situation existante ;
- Plan de réaffectation : choisir les réaffectations en adéquation avec la situation de la région et ses besoins ;
- Plan de masse : obtenir les informations nécessaires telles que les surfaces d'habitation et de parcelles, les aménagements publics, l'implantation des voiries, le choix des matériaux et revêtements, les dimensions d'implantation, etc.
- Plan technique : gérer les eaux de pluie et les eaux usées sur et hors site selon le code de l'eau et dimensionner les réseaux.

## **6. Conclusion**

L'étude du site permet donc de mettre en évidence les objectifs de la Commune mais également ses besoins tant point de vue économique que géographique ou social. La problématique a ensuite été de répondre à ces défis par une conception et un choix d'affectations pertinentes. Chaque solution proposée ne doit pas être choisies au hasard.

Ce projet répond donc à un ensemble de problématiques du XXI<sup>ème</sup> siècle à différentes échelles. Il répond surtout à un problème auquel notre pays va devoir faire face dans les prochaines décennies : la périurbanisation et la perte de nos campagnes. S'efforcer de réhabiliter nos sites abandonnés permet d'éviter d'accroître nos zones urbaines et de perdre nos espaces verts qui se font de plus en plus rares.





# Acoustic Coupling and Directivity Control

Ing. C. DEMARD  
PIERRARD – Virton

## 1. Introduction

For many years, it is relevant to use several acoustic sources at the same time. Indeed, there are more and more events which require a soundsystem which ensures power, dynamics and intelligibility all over the listeners. This is why acoustic coupling and directivity control are so important. Acoustic coupling means that all the sources should radiate as one. Directivity describes the coverage of the sound over the audience: it can be narrow or wide. In any case, homogeneity is highly important. Designing a professional speaker requires knowledge of mechanical manufacturing, electronics, acoustics, design, etc. There is not a “recipe” to design a professional soundsystem because applications are wide. Directivity is just one problem and criteria out of many.

## 2. The Line Array

Today the standard technology for sound reinforcement is the line array. A line array is an array of speakers. Each speaker is a point source and the line array tries to be a line source, so that each speaker is acoustically coupled with the other one. The sound propagation of a line array (see Figure 1) is represented on Figure 2. The interest of the line source model is the Intermediate Field where the sound pressure level decreases by 3 dB while the distance has doubled. In this zone, waves are cylindrical. In the Far Field, the sound pressure level decreases by 6 dB while the distance has doubled because waves become spherical. As shown on Figure 1, the line array is slightly curved to spread the energy according to the venue. [1]

## 3. Acoustic Coupling Criteria

### 3.1. Half of Wavelength

The spacing between the acoustic centre of each sound source should be smaller than  $\lambda/2$  at the highest operating frequency. For example, if 2 loudspeakers reproduce frequencies until 1 kHz, the maximum step between their centres should be:

$$\frac{c}{2 \cdot f} = \frac{340}{2 \cdot 1000} \approx 17 \text{ cm}$$



Figure 1 : Example of line array (D&B KSL).

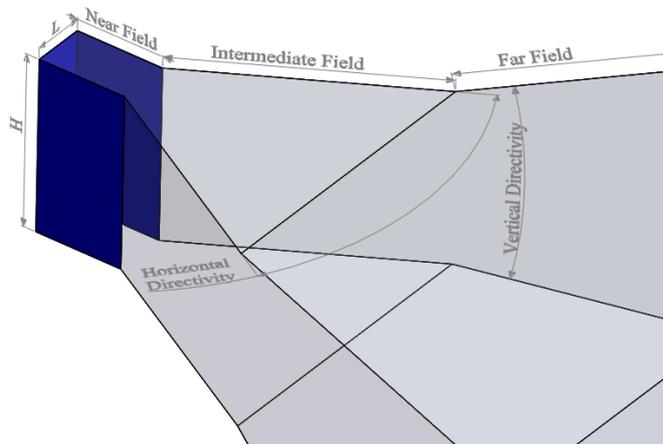


Figure 2 : Line source model.

### 3.2. Waveguide Requirements

It is tricky to fill the «  $\lambda/2$  criteria » for high frequencies, since wavelength become very short. This is why the waveguide has been created. The goal of the waveguide is to get a flat wavefront at the output. It is allowed that the deviation  $s$  (Figure 3) from a flat wavefront should be less than  $\lambda/4$  at the highest operation frequency (corresponding to 5 mm at 16 kHz). Also, the sum of individual waveguide (or horn) areas has to be higher than 80% of the vertical frame of the array. [2]

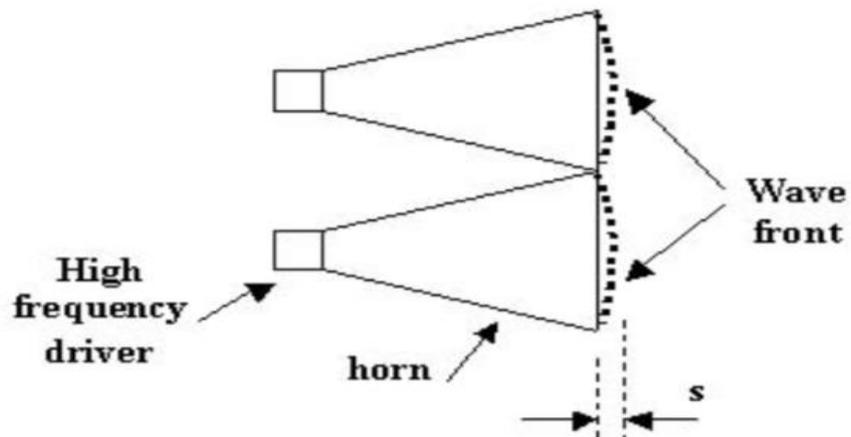


Figure 3 : Side view of 2 horns arrayed.

## 4. Controlling Directivity

### 4.1. Reason of The Control

It is important to control the directivity of a speaker in order to avoid comb filtering. That means a frequency response with many hard dips due to destructive interference (Figure 4). Comb filtering occurs while 2 delayed signals interfere.

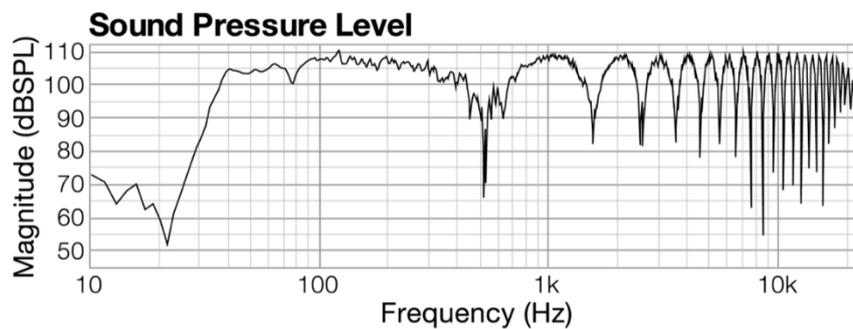


Figure 4 : Frequency response with comb filtering. [3]

### 4.2. Ways to Control Directivity

One of the solutions to avoid comb filtering is controlling directivity. There are few ways to control it:

- Splitting a radiating source into several ones (Figure 5) thanks to plugs or sheets with holes, in order to reduce the step between radiating sources;
- Adapting the waveguide or horn geometry (Figure 6);
- Choosing crossover frequencies as low as possible and steep slopes.

On Figure 7 is an example of a well-controlled directivity. This simulation has been realized with the “EASE GLL Viewer” software from AFMG.



Figure 5 : NEXO GEO M10 (on the left) and AUDIOFOCUS ARES 8 (on the right).

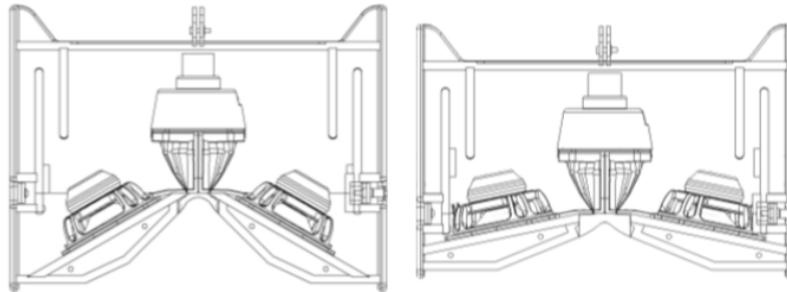


Figure 6 : APG UC206 NARROW (on the left) and WIDE (on the right).

## 5. Conclusion

There is always comb filtering while using several speakers. Those have to be well-designed in order to reduce non-primary directivity lobes which cause bad intelligibility.

Other criteria characterize the quality of a speaker:

Most widespread acoustic criteria are:

- Frequency response;
- Directivity;
- Maximum sound pressure level;
- Distortion.

It is hard to control directivity in a very narrow angle. Also, there less comb filtering problems while listeners are far from the array because the coupling looks better. But listeners near the array could “hear the gap” between speakers. Few manufacturers propose huge point source as an alternative to line array.

## 6. Sources

- [1] PIETQUIN, D., (updated in May 2007), *Sources sonores*.  
URL: <https://www.techniquesduson.com/sourcessonores.html>
- [2] URBAN, M., HEIL, C., BAUMAN, P., *Wavefront Sculpture Technology*  
Audio Engineering Society, 51, 2003 October, pp. 912-932.  
URL: <https://www.l-acoustics.com/fr/a-propos/domaines-de-recherche/>
- [3] DIGITAL SOUND & MUSIC, (edited in May 2011), *Sound Perception & Acoustic*.  
URL: <http://digitalsoundandmusic.com/chapters/ch4/>

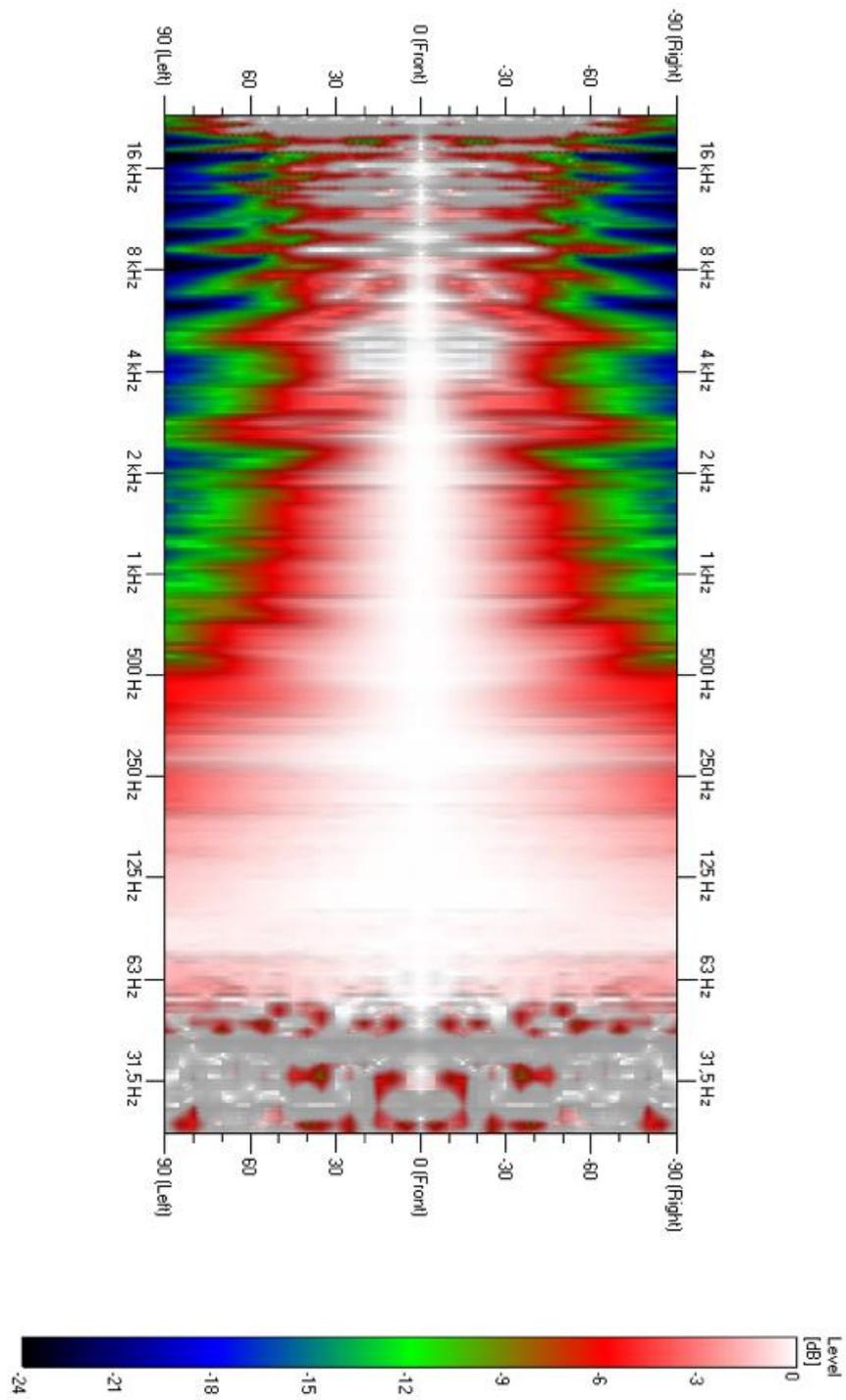


Figure 7 : Horizontal directivity of a point source speaker 5m away.



## **Développement d'une architecture multistandard pour l'IoT**

*Malgré les enjeux économiques de l'IoT, de nombreuses entreprises peinent à s'y investir pleinement. Le manque d'interopérabilité explique partiellement pourquoi. Dans cet article, on décrit une architecture matérielle et logicielle dans l'optique de résoudre ce problème. Le projet CleverIoT est né comme une manière d'implémenter cette architecture et de pallier cette fragmentation via la mise en place d'une plateforme centrale propre à remplir un rôle fédérateur.*

*Despite the economic stakes being high, many companies are struggling to fully invest themselves in the IoT. The lack of interoperability partly explains why. This article describes a hardware and software architecture meant to solve this issue. The CleverIoT project was born to implement this architecture and overcome the fragmentation by setting up a central platform capable of fulfilling a unifying role.*

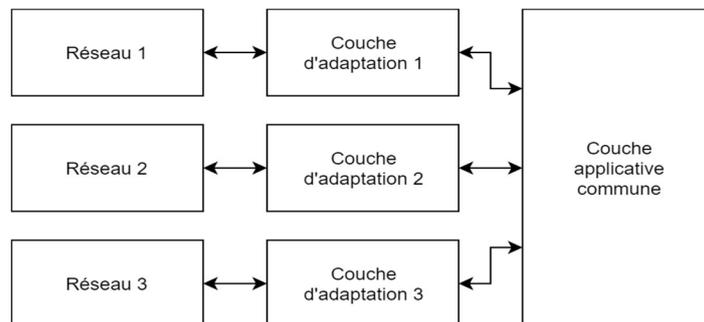
Ing. E. VETS  
CeREF Technique,  
HELHa Mons

## 1. Introduction

L'IoT n'a pas connu la croissance qu'on lui avait espéré, il y a quelques années [1]. Les raisons propres à expliquer un tel ralentissement sont nombreuses. Cependant, de celles-là, on distingue un facteur technique particulièrement crucial : l'interopérabilité. En conséquence des limitations technologiques actuelles, aucun protocole ne pourra répondre à tous les cahiers des charges de l'IoT. Il convient donc d'embrasser cette fragmentation afin de profiter de la capacité de chaque standard à résoudre les problèmes pour lesquels il a été conçu.

## 2. État de l'art

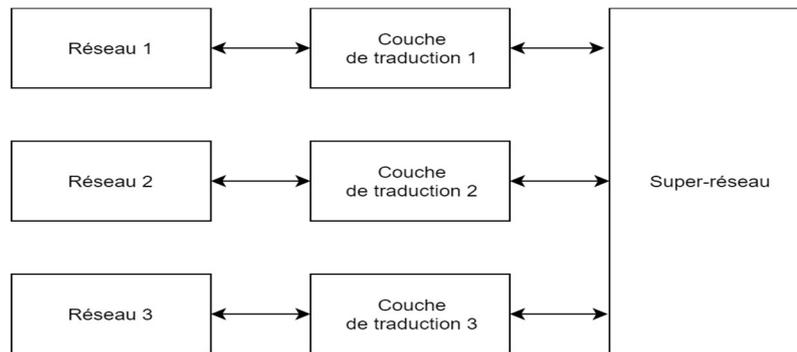
La méthode sous-jacente aux concentrateurs ad hoc consiste à associer à chaque réseau une couche d'adaptation (matérielle et logicielle). Fort de cela, les nœuds au sein d'un réseau communiquent de manière transparente avec ceux des autres, au moyen de la couche applicative commune.



*Figure 1 : Architecture ad hoc : Les couches d'adaptations unifient les réseaux dans la couche applicative commune*

De nombreuses tentatives [4][5][6] pour matérialiser cette architecture ont donné lieu à maintes suites logicielles. La caractéristique centrale de ce mode opératoire tient dans leur évolution itérative. Une telle approche est certes avantageuse puisque chaque standard vient s'y greffer « organiquement », adaptant la base logicielle en fonction des nouvelles exigences si besoin est. Mais, en contrepartie, la complexité de la partie commune grandit sans borne ou se limite à l'intersection réduite des protocoles adaptés.

Les passerelles à traduction de protocole [7][8][9] procède non plus en adaptant les standards de communication vers une implémentation logicielle de circonstances, mais plutôt vers un protocole central capable de rendre compte des particularités de tous les autres.



*Figure 2 : Architecture à traduction :  
Les couches de traduction unifient les réseaux dans un super-réseau*

Les avantages liés à cette façon de faire sont multiples. D’abord, les ressources logicielles pour implémenter cette architecture ne seront plus développées « à l’aveugle » mais bien dans une direction précise : celle du protocole du super-réseau. Ensuite, accéder à la passerelle depuis l’Internet devient fortement simplifié. Enfin, les compétences nécessaires pour maîtriser le dispositif ne sont plus arbitraires. En conséquence, le travail de développement s’en trouve plus appréciable.

### **3. Solution proposée : architecture hybride**

L’architecture proposée ici est une forme hybride. En effet, il est question d’opérer via l’entremise d’un super-réseau mais également d’ajouter les protocoles de manière ad hoc. Cela permet de profiter de la facilité de développement de ce dernier tout en tirant parti des avantages structurels de l’autre.

En pratique, la couche applicative de chaque réseau est mise à disposition sur le super-réseau par l’intermédiaire d’une couche d’adaptation dédiée et de la couche sémantique. Au sein de cette dernière, les ressources du nœud IoT seront représentées selon un format précis et universel. Le tout sera alors géré par un standard de communication central, capable de piloter les données.

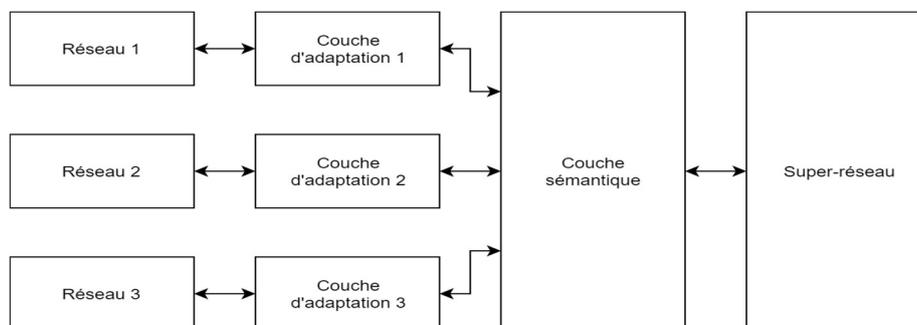


Figure 3 : Architecture hybride : Les couches d'adaptation et la couche sémantique unifient les réseaux dans un super-réseau

Du point de vue matériel, la stratégie des concentrateurs ad hoc ne connaît somme toute aucune alternative valable. Chaque réseau nécessite de maîtriser les prérequis de sa couche physique. En conséquence, s'il faut administrer N réseaux en parallèle, chacun (au pire) avec une couche physique différente, il faudra N plateformes matérielles dédiées.

Le point crucial de l'architecture logicielle porte sur la séparation des responsabilités entre *firmware* et *software*. En effet, les besoins en temps réels des protocoles sans fils imposent une contrainte matérielle qui se résout le plus simplement en séparant la charge programmatique entre une unité centrale et un coprocesseur. Pour optimiser la fiabilité de la solution, il convient de déporter autant du protocole dans ce dernier.

Au-delà des soucis des couches inférieures, les problématiques d'interopérabilité de l'IoT portent principalement sur les couches applicatives des standards de communication. Ainsi, les données d'un même capteur ou actuateur prendra une forme différente en fonction du protocole. Fédérer cette population de standards nécessite que tous parlent un même langage, ou plus précisément une description systématique des capacités et des caractéristiques des nœuds. Pour ce faire, on fera usage de ce que la littérature appelle une « sémantique » ou « ontologie » pour l'IoT. Plusieurs candidats sont disponibles pour remplir ce rôle [10] [11].

#### 4. Projet CleverIoT

La contrainte centrale à laquelle la couche matérielle répond réside dans les problématiques de gestion de temps réels des couches physiques des standard de communications. En effet, bien que les protocoles de l'IoT soient ordinairement à

bas taux de transmission, les contraintes en termes de timing n'en sont pas moins cruciales. Et puisqu'il est question de gérer plusieurs protocoles sur une même plateforme, on en déduit la nécessité de déporter du moins une partie de leur code sur un processeur dédié : un NCP (Network Co-Processor).

La partie sémantique de l'architecture est d'une importance capitale. C'est par son entremise que la problématique de l'interopérabilité est à proprement parler résolue. Malheureusement aucun consensus n'existe dans ce contexte dans la littérature. En conséquence, à défaut de pouvoir dépendre d'un standard établi, le projet CleverIoT, à titre provisoire, a choisi d'implémenter l'approche décrite dans [13]. Celle-ci se résume à étendre le standard RDF (Resource Description Framework) à l'IoT.

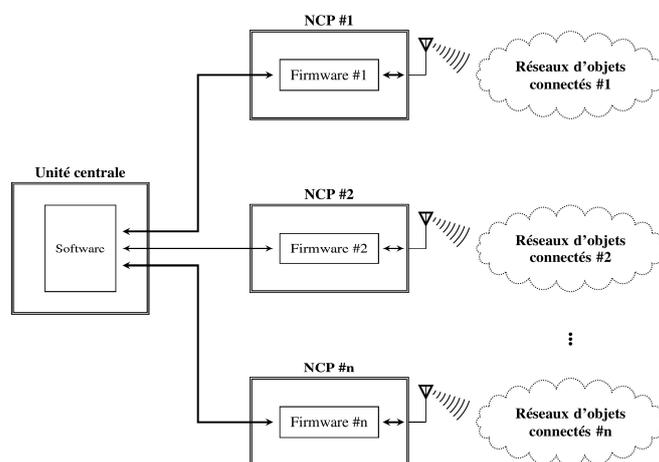


Figure 4 : Architecture matérielle :  
L'unité centrale accède aux réseaux via des coprocesseurs dédiés.

## 5. Conclusion

Résoudre la problématique d'interopérabilité de l'IoT requiert un travail de longue haleine. Et puisque l'état actuel de la technologie ne permet pas de mettre au point un standard de communication unique répondant à toutes les situations, on en conclut la nécessité de produire une solution multi-protocolaire. Dans cet article, on a décrit une architecture capable de l'accomplir. En outre, le projet CleverIoT se présente comme un premier pas dans cette direction. Mais, en conséquence de l'ampleur de la tâche, beaucoup reste à faire afin d'obtenir une solution rivalisant en stabilité et maturité avec l'infrastructure plus « traditionnelle » de l'Internet.



# Mise en œuvre d'une attaque par analyse de la consommation de puissance d'un circuit intégré de chiffrement AES et implémentation d'une contre-mesure.

Ing. T. ANIZET – Ir N. MARCHAND – PhD. L. LERMAN – Ir F. DURVAUX  
ECAM – Bruxelles

## 1. Introduction

Depuis toujours, l'homme cherche à dissimuler des informations à ses tiers mais depuis toujours, l'homme cherche également à accéder à des informations auxquelles il n'a pas le droit. Cette lutte symbolise le combat entre la **cryptographie** et la **cryptanalyse**. Lorsqu'il s'agit de manipuler des informations secrètes, la question de confidentialité des informations manipulées se pose inévitablement. Pour cette raison, des **algorithmes de chiffrement** sont développés et par la suite, la cryptanalyse tente d'y déceler des failles. Un algorithme de chiffrement est un ensemble de fonctions mathématiques manipulant une clé secrète pour chiffrer un message en entrée appelé texte clair. Le résultat obtenu en sortie de l'algorithme est appelé texte chiffré. A ce jour, il existe une multitude d'algorithmes de chiffrement [1], chacun possédant ses avantages et ses inconvénients. Celui étudié dans cet article est l'**algorithme AES**<sup>1</sup>.

Fin des années 1990, de nouvelles recherches dans le domaine de la cryptanalyse aboutirent sur un nouveau type d'attaque : les **attaques par canaux auxiliaires**. Une attaque par canal auxiliaire désigne « *une attaque informatique qui, sans remettre en cause la robustesse théorique des méthodes et procédures de sécurité, recherche et exploite des failles dans leur implémentation logicielle ou matérielle* » [2]. Une attaque par canaux auxiliaires est définie selon le type d'information physique qu'elle analyse : température, rayonnement électromagnétique, temps de calcul, etc. Cet article se concentre sur les **attaques par analyse de la consommation de puissance par corrélation (attaque CPA)**<sup>2</sup> [3]. Ce type d'attaque analyse la consommation de puissance d'un **système cryptographique** en cours de chiffrement (ou de déchiffrement) car la puissance consommée par le circuit intégré reflète directement ses activités internes (instructions exécutées et données manipulées).

---

<sup>1</sup> *Advanced Encryption Standard*

<sup>2</sup> *Correlation Power Analysis*

L'attaque exploite donc bien les faiblesses du système cryptographique, c'est-à-dire du système implémentant l'algorithme de chiffrement. La figure 1 présente les liens entre les différents systèmes nécessaires pour réaliser une attaque par canal auxiliaire utilisant l'analyse de la consommation de puissance comme paramètre physique exploitable.

Dès que ces attaques se sont manifestées, une série de **contre-mesures** a été développée [3] [4]. Pour obtenir une contre-mesure efficace, il faut savoir que lors de l'exécution d'un algorithme de chiffrement, différentes opérations sont exécutées conduisant à différentes **valeurs intermédiaires calculées**. Si aucune protection n'est mise en place, la consommation de puissance du système cryptographique dépend des données intermédiaires manipulées par ce dernier (par l'algorithme précisément). Dès lors, l'objectif général d'une contre-mesure est de rendre la consommation de puissance du circuit indépendante des valeurs intermédiaires calculées par l'algorithme de chiffrement. La contre-mesure développée dans cet article porte le nom de contre-mesure de type *Faking* [5].

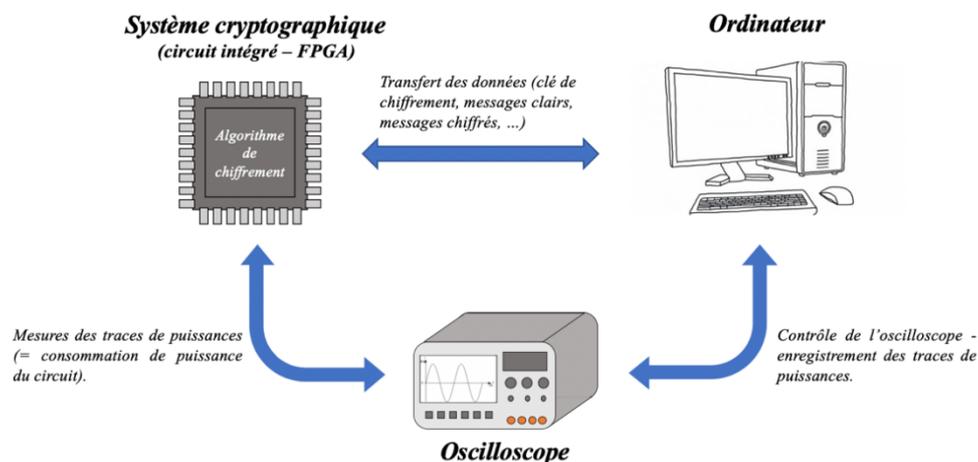


Figure 1 - Matériel nécessaire pour réaliser une attaque par analyse de la consommation de puissance.

## 2. Mise en oeuvre de l'attaque CPA

Le matériel utilisé pour mettre en oeuvre l'attaque CPA (figure 1) est le suivant :

- Système cryptographique : un FPGA de la famille Spartan 6. Plus globalement, l'attaque est réalisée sur une carte électronique (carte Sakura-G) spécialement conçue pour des attaques par canaux auxiliaires ;
- Oscilloscope : un picoscope de la série 5000D ;

- Traitement de l'information : un ordinateur comportant le logiciel MATLAB ainsi que le langage de programmation PYTHON.

La figure 2 décrit la procédure mise en place pour configurer les différents systèmes informatiques utilisés (FPGA, oscilloscope, ordinateur) ainsi que pour chiffrer différents messages clairs tout en capturant la consommation de puissance du FPGA.

- 1) Configuration du protocole de communication entre l'oscilloscope et l'ordinateur (Python) ;
- 2) Configuration du protocole de communication entre le FPGA et l'ordinateur (Python) ;
- 3) Envoi de la clé de chiffrement ( $K$ ) et d'un texte clair ( $P$ ) au FPGA depuis l'ordinateur (Python);
- 4) Chiffrement du message clair sur le FPGA et génération d'un trigger par le FPGA pour aligner les traces à l'oscilloscope (VHDL) ;
- 5) Une fois le chiffrement du message clair terminé : (a) Sauvegarde sur ordinateur de la trace de puissance capturée à l'oscilloscope (Python) ; (b) Sauvegarde sur ordinateur du message chiffré par le FPGA (Python) ;
- 6) Afin de réaliser l'attaque CPA correctement, un grand nombre ( $N$ ) de messages clairs doivent être envoyés au FPGA. Par conséquent, les étapes 3 à 5 seront répétées  $N$  fois.

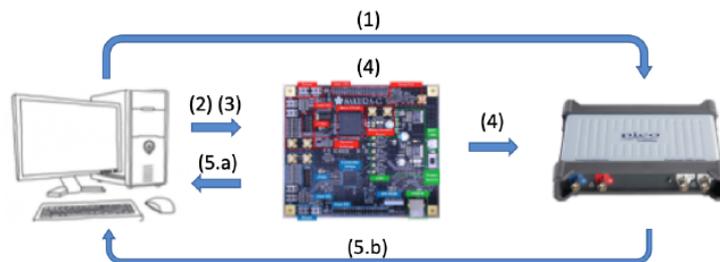


Figure 2 - Procédure mise en place pour le chiffrement de textes clairs et l'enregistrement des traces de puissance capturées à l'oscilloscope.

L'attaque CPA s'exécute via un script MATLAB. Ce script va d'une part reprendre les traces de puissance enregistrées à l'oscilloscope et d'autre part calculer des prédictions de puissance sur base des textes clairs envoyés au FPGA. La figure 3 décrit la procédure utilisée pour appliquer une attaque CPA sur l'implémentation de l'algorithme AES-256. Pour cette procédure, on considère que l'enregistrement des traces a déjà été réalisé (procédure précédente).

- 1) Récupération et chargement des  $N$  traces de puissance capturées à l'oscilloscope ;
- 2) Récupération et chargement des  $N$  messages clairs envoyés au FPGA pour être chiffrés ;

- 3) Simulation des opérations *AddRoundKey* et *SubBytes* pour tester toutes les valeurs de clés possibles ;
- 4) Utilisation d'un modèle de puissance pour prédire la consommation du FPGA (poids de *Hamming* et distance de *Hamming*) ;
- 5) Calcul de la corrélation entre les traces de puissance et les prédictions de consommation de puissance ;
- 6) Détermination de la clé secrète sur base de la corrélation maximum ;

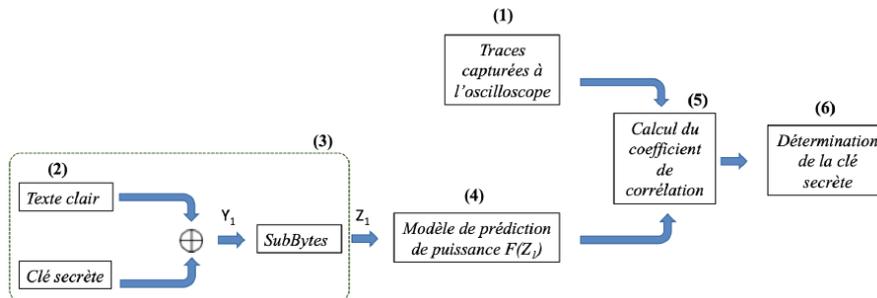


Figure 3 - Procédure mise en place pour réaliser une attaque par analyse de la consommation de puissance.

### 3. Résultats et conclusion

L'attaque CPA est implémentée sur base de l'algorithme AES-256, réputé robuste et incassable, selon la méthodologie définie à la section 2. Cette attaque CPA a pris environ quinze minutes pour révéler la clé secrète du système cryptographique. Ce résultat permet de conclure que les procédures développées et mises en place sont correctement configurées. Une amélioration de l'attaque a même été mise au point afin d'en augmenter son taux de succès. Cette amélioration consiste à appliquer un filtre sur les traces, ce qui permet d'en extraire toute information inutile avant l'exécution de l'attaque. Au final, on obtient un démonstrateur qui permet de révéler rapidement la valeur de la clé secrète employée par l'algorithme AES-256.

La figure 4 présente le résultat de l'attaque CPA en fonction du nombre de traces utilisées lorsque le filtrage est appliqué. Plus précisément, cette figure indique le nombre de traces filtrées qu'un attaquant doit utiliser pour que l'attaque CPA révèle toujours la valeur du quatorzième byte de la clé de chiffrement. Dans le cas présent de cette attaque sur le quatorzième byte de la clé secrète, au-dessus de 1300 traces, la clé est toujours révélée. Pour visualiser l'impact du filtrage sur les résultats de l'attaque CPA, une métrique est utilisée. Cette métrique mesure le taux de succès de l'attaque en fonction du nombre de traces utilisées selon que le filtrage soit implémenté ou non. La figure 5 présente ce taux de succès de l'attaque CPA.

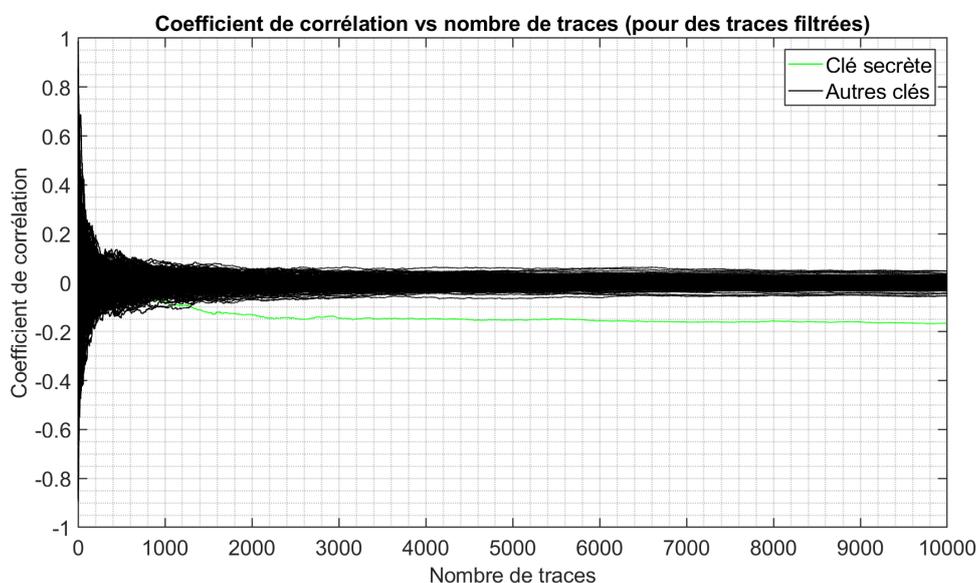


Figure 4 - Attaque CPA sur le quatorzième byte de la clé de chiffrement. Il faut un minimum de 1300 traces pour que l'attaque CPA fonctionne tout le temps.

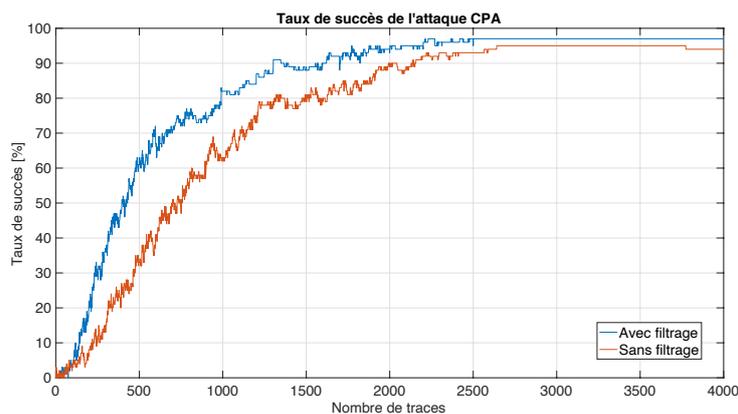


Figure 5 - Taux de succès de l'attaque CPA selon que les traces soient filtrées (courbe bleue) ou non (courbe orange). L'attaque fonctionne mieux avec filtrage.

La contre-mesure implémentée (*faking*) a pour objectif de masquer la valeur initiale de la clé secrète utilisée par l'algorithme AES-256. De cette façon, lorsque l'attaque CPA est opérée, c'est une fausse clé qui doit être retrouvée en lieu et place de la vraie clé secrète. La figure 6 présente le résultat de l'attaque CPA lorsque la contre-mesure *faking* est implémentée. Selon ce résultat, la contre-mesure empêche de retrouver la valeur de la clé secrète employée par l'algorithme AES-256. Cependant, la clé révélée par l'attaque ne correspond ni à la vraie clé, ni à la fausse clé censée être retrouvée. On observe donc un écart entre les résultats obtenus en

pratique et ceux attendus en théorie. Trois pistes d'améliorations futures basées sur les résultats obtenus sont succinctement étudiées dans cet article.

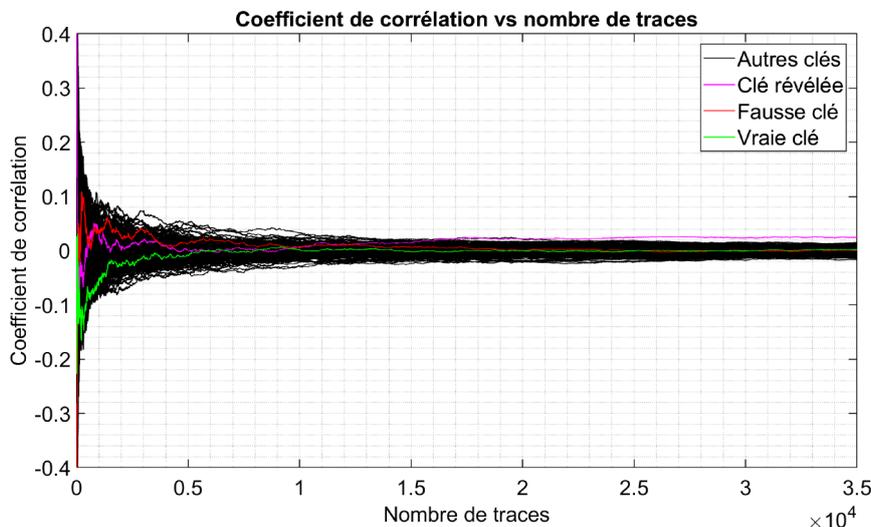


Figure 6 – Résultat de l'attaque CPA lorsque la contre-mesure faking est implémentée.

## 1. Sources

- [1] Wikipédia, «Liste d'algorithmes,» 16 Février 2018. [En ligne]. Available: [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste\\_d%27algorithmes&oldid=145536358](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_d%27algorithmes&oldid=145536358). [Accès le Septembre 2019].
- [2] Wikipédia, «Attaque par canal auxiliaire,» 31 Juillet 2019. [En ligne]. Available: [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Attaque\\_par\\_canal\\_auxiliaire&oldid=161432030](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Attaque_par_canal_auxiliaire&oldid=161432030). [Accès le Septembre 2019].
- [3] E. O. a. T. P. S. Mangard, Power analysis attacks : revealing the secrets of smart cards., New York: Springer, 2007.
- [4] S. Fernandes Medeiros, «Attaques par canaux auxiliaires: nouvelles attaques, contre-mesures et mises en oeuvre,» 28 Avril 2015. [En ligne]. Available: <https://difusion.ulb.ac.be/vufind/Record/ULB-DIPOT:oai:dipot.ulb.ac.be:2013/209096/Details>. [Accès le Septembre 2019].
- [5] M. L.-G. a. E. C.-N. R. Lumbarres-Lopez, «Faking Countermeasure Against Side-Channel Attacks,» 2018.





# Ammonia Plant: Modelling on VALI 5

Ing. A. HOUBEN – Ing. N. MONFORT – Ir. C. CHARLIER  
GRAMME – Liège

## 1. Introduction

Nowadays, the control development of chemical processes is increasingly important considering economic, political or environmental issues are related, making them even more dependent on this control.

The collection of process data allows relevant and reliable performance variables to be calculated provided that the data are correct. Indeed, all these data must be consistent with several constraints, among others such as mass, energy or pressure balances.

Belsim Engineering and its effective solutions looks for opportunities to extend its activities in new sectors. Indeed, their core business is to provide DVR solutions at present mainly in Oil & Gas industry and power generation area.

Therefore, the company wants to investigate other chemical processes, such as ammonia manufacturing being among the most important productions.

The objective of the work was therefore to model a unit of ammonia manufacturing on the new version of VALI to get use of new tools in order to highlight influence parameters of the process. A data collection was led at YARA, an ammonia producer whose one of their ammonia plant is located in Belgium, allowing to compare model results with their values.

## 2. Data Validation & Reconciliation

Data Validation & Reconciliation (DVR) is a powerful tool based on statistical principles which allows to control the health of a process by performing numerical calculations with the measurements, allowing to reduce their uncertainties and/or to point out a measurement incoherence.

When any process modelling is defined, it is surrounded by a certain amount of equations, such as mass, energy or pressure balances depending on the complexity of the

model. To solve the whole system<sup>1</sup>, the amount of measurements introduced in the model must be at least equal to the amount of equations. In this case, a unique set of solutions is produced. The problem is that this solution should be different from the real behaviour of the process if a measurement was wrong during the input.

It is more interesting when it comes to add additional measurements compared to the number of equations, increasing the **redundancy** of the model. Actually, that's how DVR works. In this case, the set of solutions given by VALI is closer to the real behaviour of the process and allows to point out suspicious measurements.

### 3. Ammonia Plant Modelling

Ammonia production is an integrated process where all the parts are linked and influence each other. The process, described by Haber-Bosch in 1909, can be divided between five different parts:

1. Reforming (primary and secondary)
2. Shift Conversion
3. CO<sub>2</sub> Removal
4. Methanation
5. NH<sub>3</sub> Synthesis

A complete modelling of this process was realised in VALI, allowing to highlight key performance variables (KPI) of the process.

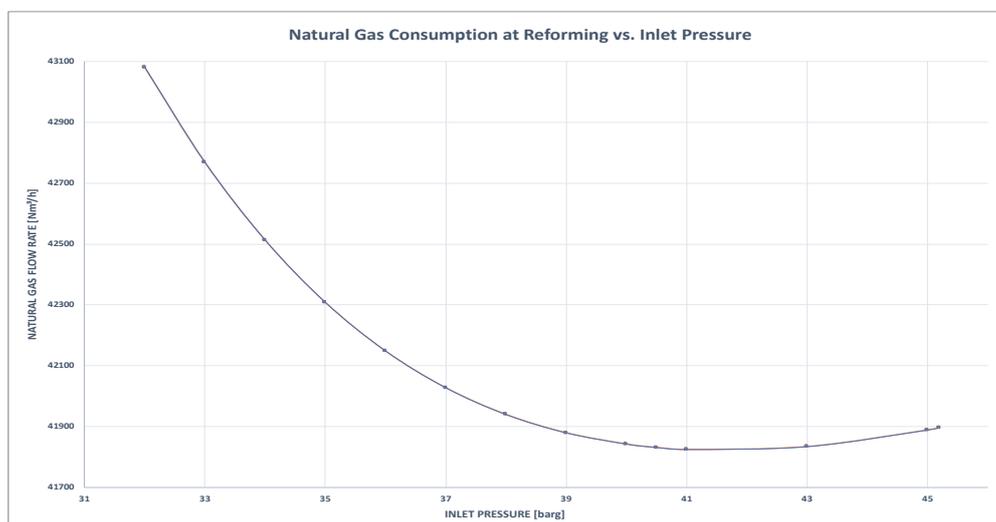
### 4. Study of Operational Parameters

Once the modelling completely finished, the performances of the process can be monitored by modifying some measurements, e.g. the pressure of the supplied natural gas. By performing several calculations with different pressure measurements, it was possible to identify some optimum working points of the process, corresponding to real ammonia plant working points actually.

The Figure 1 shows a minimum value of natural gas consumption corresponding to a real working pressure (around 41 barg), for a **fixed ammonia production**. It means that, for the same production of ammonia at the outlet, it is more interesting to work at 41 barg because it reduces the amount of natural gas consumed at the inlet. So, it is less expensive for the ammonia producer.

---

<sup>1</sup> Solving a system means that all the variables, such as flow rates, temperatures and/or pressures are known at each nodes of the model.



*Figure 1 : Natural Gas Flow Rate vs. Inlet Pressure at Reforming Side*

## 5. Conclusion

First of all, the modelling of an ammonia plant on VALI 5 is a good way to use the software and to learn how it works. Indeed, ammonia process is diversified in terms of reactions, physical separations and heat management. It allows the use of the majority of standard equipments and understanding of how to insert them in an integrated process. This hard work can be considered as a good approach and training on VALI 5.

Concerning the present work itself, the main task of modelling and understanding an ammonia process can be considered achieved as a fully functional model of ammonia manufacturing has been completely realised. Its behaviour is close to a real process, according to the precious data that have been collected at Yara.

Moreover, the model behaviour can be easily controlled as it is adequately configured: influential parameters can be followed by monitoring only one parameter, for example the inlet pressure of natural gas.

As requested by Belsim, this strong modelling basis could be used as a demonstration model for potential customers where VALI benefits could be highlighted inside the model. Moreover, it is easy to add additional units and/or streams, as the main parts are already designed and configured.

Finally, the current model could be a strong basis for a real DVR application where a current ammonia process, for example Yara plant, could be modelled with this

modelling basis. Then, real data from process measurements could be implemented on this specific modelling in order to perform DVR calculations and to improve the control of the process.





# Optimisation du dimensionnement de conduites de chauffage

Ing. F. HUAUX – Dr Ir V. HANUS  
PIERRARD – Virton

## 1. Introduction

Lors de l'étude d'une installation de chauffage, la partie dimensionnement est régie par bon nombre de normes et recommandations. Pourtant, pour les procédés industriels, trouver le point de fonctionnement optimal permet d'être compétitif sur le marché. Cet article présente la recherche de ce point de fonctionnement idéal au niveau de l'isolation des conduites ainsi que pour les pertes de charge. Ces points seront mis en regard du cahier des charges énergétique installation de chauffage publié par la Région Wallonne [1].

## 2. Isolation

L'épaisseur de l'isolation d'une conduite de chauffage est choisie selon un compromis entre une épaisseur importante (donc des investissements plus élevés) ou des pertes importantes (donc un coût de fonctionnement plus élevé).

### 2.1. Pertes thermiques

Les pertes thermiques calculées suivant les échanges au travers de parois cylindriques :

$$p_{th} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot U \cdot l \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (1)$$

$$\frac{1}{r \cdot U} = \frac{1}{r_{int.tube} \cdot h_{int.tube}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{int.tube} + e_{tube}}{r_{int.tube}}\right)}{k_{tube}} + \frac{\ln\left(\frac{r_{ext.tube} + e_{isolant}}{r_{ext.tube}}\right)}{k_{isolant}} + \frac{1}{r_{ext.isolant} \cdot h_{ext.isolant}} \quad (2)$$

Avec  $p_{th}$  : flux thermique | W  
 $U$  : coefficient de transfert global | W/m<sup>2</sup>.K

---

Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°34, 2020

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

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

l : longueur de la conduite	m
h : coefficient d'échange de la surface	W/m <sup>2</sup> .K
k : coefficient de conduction	W/m.K
r : rayon	m

L'isolant choisi est un isolant composé de fibres ayant une conductivité de 0,04 W/m.K. Les coefficients d'échange de parois sont fixés respectivement à 25 et 75 W/m<sup>2</sup>.K pour la paroi interne pour le DN25 et DN150 et 15 W/m<sup>2</sup>.K pour la surface externe.

## 2.2. Coût d'isolation

Le prix de l'isolation est approximé en regard de sa composition : isolant fibreux entouré d'une tôle de protection. Pour chaque type d'énergie (et en fonction de son tarif, les rendements de production n'étant pas considérés), on peut donc déterminer l'épaisseur octroyant le coût de fonctionnement le plus bas. On distingue deux types d'installations : l'un rencontré dans les parcs industriels ou les réseaux de chaleur (8200 h/an de fonctionnement), l'autre à usage domestique (5800 h/an de fonctionnement), tous deux pour une période de 10 ans.

## 2.3. Résultats

Épaisseur optimale d'isolant [mm] pour $\Delta T = 65^{\circ}\text{C}$			Industrie		Domestique	
Moyen de chauffage	Prix [c€/kWh]	Date	DN 25	DN150	DN 25	DN150
Électricité [2]	0,2	Juin-19	<b>110</b>	<b>170</b>	<b>95</b>	<b>150</b>
Propane (bout.) [3]	0,186	Sept-19	<b>110</b>	<b>165</b>	<b>95</b>	<b>145</b>
Propane (citer.) [4]	0,145	Sept-19	<b>10</b>	<b>150</b>	<b>85</b>	<b>130</b>
Mazout [5]	0,064	Sept-19	<b>70</b>	<b>105</b>	<b>60</b>	<b>90</b>
Plaquette de bois [6]	0,027	Juin-17	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>40</b>	<b>65</b>
Épaisseur optimale d'isolant [mm] pour $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$			Industrie		Domestique	
Moyen de chauffage	Prix [c€/kWh]	Date	DN 25	DN150	DN 25	DN150
Électricité [2]	0,2	Juin-19	<b>80</b>	<b>125</b>	<b>70</b>	<b>105</b>
Propane (bout.) [3]	0,186	Sept-19	<b>80</b>	<b>120</b>	<b>70</b>	<b>105</b>
Propane (citer.) [4]	0,145	Sept-19	<b>70</b>	<b>110</b>	<b>60</b>	<b>95</b>
Mazout [5]	0,064	Sept-19	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>40</b>	<b>65</b>
Plaquette de bois [6]	0,027	Juin-17	<b>35</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>45</b>

Tableau 1 : Épaisseur optimale d'isolant pour différents moyens de chauffage et différents diamètres [2-6]

En comparant les résultats du tableau 1 au cahier des charges de la Région Wallonne [1], on peut conclure que le cahier des charges a été rédigé à la base pour une utilisation domestique ainsi qu'avec la source d'énergie la plus répandue ; le mazout de chauffage. Du fait de l'augmentation globale du prix de l'énergie au long de ces années, il serait intéressant de mettre à jour ce cahier des charges pour obtenir des valeurs représentatives de la situation actuelle.

### 3. Dimensionnement de la conduite

Dans le cahier des charges de la Région Wallonne, il est recommandé de réaliser le dimensionnement des conduites pour 120 Pa/m. Dans le milieu professionnel, on entend régulièrement que le sur dimensionnement coûte cher et qu'il faut atteindre le dimensionnement le plus juste. Dans cette section, on compare le coût d'utilisation de tuyauterie en fonction du débit à y faire passer.

Pour une application domestique<sup>1</sup> (figure 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), on observe une moyenne pour tout débit de 80 Pa/m. En réalité, pour une application domestique la gamme de débit varie entre 0.1 à 2 m<sup>3</sup>/h, ce qui donne une perte de charge idéale de 178 Pa/m. Si l'on néglige la première valeur, la moyenne est alors de 147 Pa/m ce qui n'est pas si éloigné de ce qui est recommandé : 120 Pa/m.

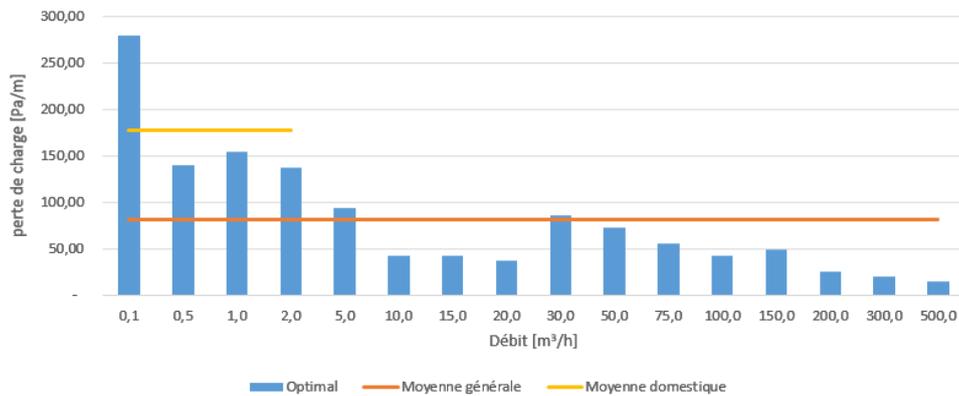


Figure 1 : Pertes de charge optimales pour une utilisation domestique

Dans le cadre d'une utilisation industrielle<sup>2</sup> (figure 2), on remarque que les pertes de charge idéales sont bien plus basses en raison du temps de fonctionnement plus conséquent, surtout quand il s'agit de débit important (supérieur à 10 m<sup>3</sup>/h).

<sup>1</sup> Soit un temps de fonctionnement lié à la saison, choisi ici égal à 5800 h/an.

<sup>2</sup> Soit un temps de fonctionnement plus élevé, choisi ici égal à 8200 h/an.

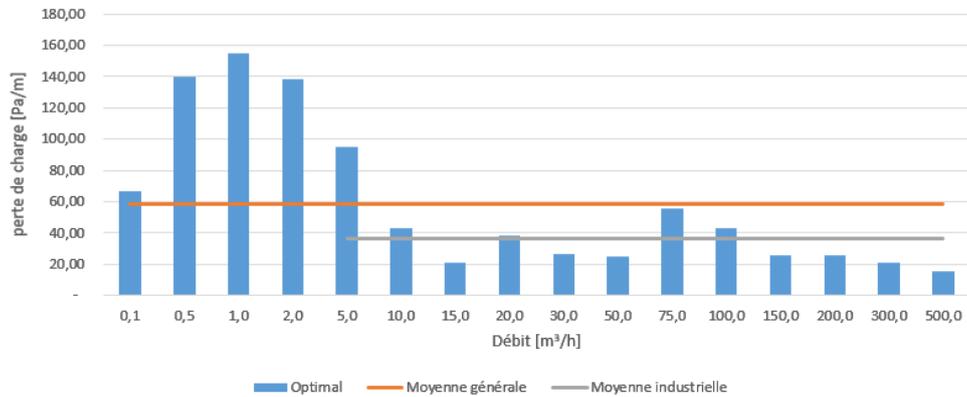


Figure 2 : Pertes de charge optimales pour une utilisation industrielle

On peut conclure que les recommandations du cahier des charges ne sont pas adaptées pour des applications industrielles.

## 4. Conclusion

Le calcul du diamètre optimal et de son isolation pour minimiser les coûts pour une tuyauterie dépend d'un nombre limité de paramètres. Une analyse économique permet de déterminer, pour un débit donné, le diamètre optimal et son épaisseur d'isolation. Les résultats obtenus le sont pour différents combustibles et un régime de température de chauffage courant pour l'eau chaude. Ces résultats peuvent évidemment varier en fonction des tarifs des énergies (variables dans le temps) et de l'évolution technologique des moyens utilisés pour produire l'eau chaude.

Force est de constater que le cahier des charges de la Région Wallonne [1] présente des valeurs adaptées à l'époque de sa rédaction, mais que ces optima se sont depuis modifiés dans le sens d'une plus grande épaisseur d'isolation. Concernant le diamètre des conduites (pour un débit donné), les valeurs recommandées divergent de l'optimum pour des diamètres rencontrés dans les installations industrielles.

Cet article incite donc à la prudence face à des valeurs par défaut. Pour des installations particulières telles que des installations industrielles, une optimisation sur mesure est préférable.

## 5. Sources

- [1] *Cahier des charges énergétique – Installation de chauffage*, Architecture et Climat – UCL, Louvain-la-Neuve, juin 2004, 32 p.  
Adresse URL : [https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/buretudes\\_chauffage\\_juin04.pdf?ID=1781](https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/buretudes_chauffage_juin04.pdf?ID=1781)
  
- [2] *Prix de l'électricité et du gaz naturel en Belgique, dans les 3 régions et les pays voisins*, CREG, Bruxelles, 28 juin 2019, 14 p.  
Adresse URL : <https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Prices/BelEnergy-PriceCompFR.pdf>
  
- [3] PICBLEU, (mis en ligne le 25 mai 2019), *Achat des bouteilles de gaz des grandes surfaces et supermarchés*.  
Adresse URL : <https://www.picbleu.fr/page/bouteille-de-gaz-grandes-surfaces-supermarches-grande-distribution>
  
- [4] TARIFGAZ, (mis en ligne le 28 novembre 2018), *Tarif du gaz propane : environ 1,75 € par kg*.  
Adresse URL : <https://tarifgaz.com/faq-unite/tarif-propane-kg>
  
- [5] CARBU.COM, (consulté le 15 septembre 2019), *Prix maximum du mazout en Belgique*.  
Adresse URL : <https://carbu.com/belgique/prixOfficielMazout>
  
- [6] APERE, (mis en ligne le 11 septembre 2017), *Les prix de détails de l'énergie en 2017 sont stables*.  
Adresse URL : <https://www.renouvelle.be/fr/statistiques/les-prix-de-detaills-de-lenergie-en-2017-sont-stables>



# Design and Modeling of Multilevel Converter for Drivetrains and Stationary Applications

Ing. A. BOUCQUEY – Ing. F. DEFRANCE – Dr. M. MONEM – Dr. O. HEGAZY  
ECAM – Bruxelles  
VUB – Bruxelles

## 1. Introduction

### 1.1. Context

‘In 2009 the European Union committed itself to reduce its greenhouse gas emissions by at least 2050 compared to the 1990 level’. The depletion of fossil resources and this ambitious commitment to massive decarbonization lead the energy landscape to a major change never seen before in the coming years. Worldwide electrification of the transport sector is one of this expected change. It is slowly moving away from the main fossil energy source used today, oil. Power converters will therefore play a key role, especially in the electromobility market. A new breed of power converter is studied to get better reliability, efficiency and modularity than classic converter: the Multilevel Converter (MLC). It will be designed, developed, analyzed and compared with another type of converter, already built and designed within the Vrije Universiteit Brussels (VUB), the Multiport Converter (MPC).

### 1.2. Principle of the Multilevel Converter

The basic principle of the MLC is to provide desired alternating voltage level at the output by using multiple isolated DC sources as an input. The DC-sources are connected in series and activated or disactivated in a defined sequence to generate desired alternating voltage level at the output. The number of levels is defined by the numbers of DC-sources. Figure 1 depicts the architecture of a 13 levels MLC. The switches  $S_{a_i}/S_{b_i}$  are complementary. A full bridge inverts the signal at each half-period in order to obtain a sinusoidal shaped signal at the output. Figure 2 illustrates the output signal obtained. The advantages of MLC compared to basic power converter:

- Low harmonics and Electromagnetic Interference (EMI) in the output signal.
- Low switching frequency and switching stress.
- High modularity and reliability in case of failure of one supply.

---

Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°34, 2020

Une version plus développée de cet article est accessible en ligne à l'adresse suivante :  
<http://www.isilf.be/>

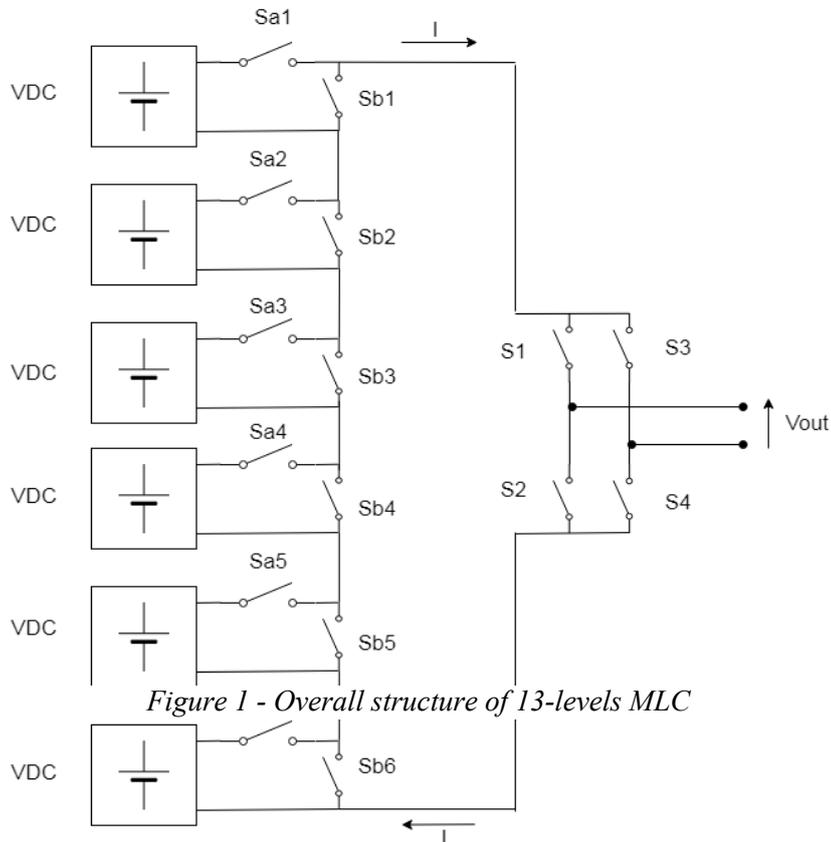


Figure 1 - Overall structure of 13-levels MLC

- Versatility of the input DC-sources and bidirectionnall energy flow.

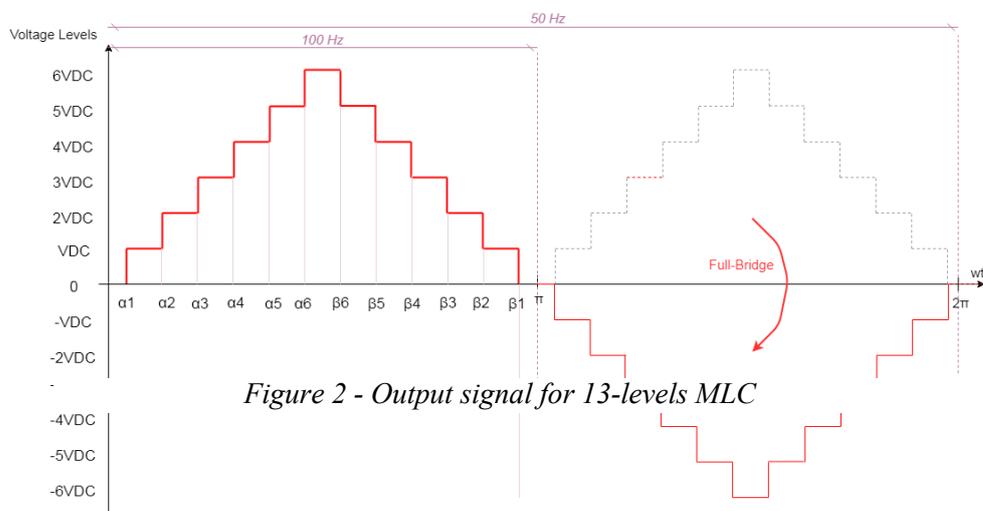


Figure 2 - Output signal for 13-levels MLC

### **1.3. Principle of the Multiport Converter**

The Multiport Converter also includes several DC-sources as input but unlike the MLC those are connected in parallel. The basic principle of the MPC is to generate a required voltage on the DC-bus by combining energy sources of different power and voltage levels. The steps generated are current steps unlike voltage steps for the MLC. Like the MLC these steps are then inverted by the full-bridge inverter.

## **2. Goal of the study**

The Multiport Converter has been already designed and built within the VUB. The main objective of this article is therefore to design, simulate, build and test a Multilevel Converter in order to compare it with the existing MPC. The simulations of the MLC models will be also compared with the test to check the compliance of the model.

The study will be structured in different steps :

- Selection and comparison of Multilevel topologies based on criteria (modularity, harmonic content, reliability, complexity, etc.)
- Modelling, simulation and implementation of the selected MLC topology through different control algorithms.
- Validation of the models and experimental results.

## **3. Conclusion**

In conclusion, the MLC is designed, built and analyzed throughout this article. Its versatility, modularity, reliability and efficiency are such key features essential for the tomorrow energy landscape. It can be used in a wide range of applications from vehicle to grid application in the electromobility sector to buffer converter in a mixed power generation network. The paths of improvement are numerous and promising technologies will reinforce its advantages such as new GaN technology of semiconductors (Gallium Nitride). The different simulations and tests proved that a right control algorithm applied to MLC reduces drastically the harmonic content in the output signal and the switching stresses. The overall efficiency of such converter is therefore higher than classic power converter. The demonstrator built and analyzed has proved what the MLC can be capable of. It marks the beginning of an interesting technological journey which could solve the tomorrow's energy challenges







# LISTE DES TRAVAUX DE FIN D'ETUDES

**Année académique 2018 -2019**

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]
GRAMME	[G]
ISICHt	[H]
PIERRARD	[P]



## 1. AUTOMATIQUE

### 1.1. RÉGULATION

- [E] AMOUGOU ABOA Philemon Contribution à l'étude de faisabilité du développement d'un système de conduite d'installations de chauffage conventionnelles de petites unités de quelques circuits de chauffage sur base de PLC d'entrée de gamme BECKHOFF
- [E] BOEGAERTS Olivier Implémentation d'un contrôleur de vol basé sur la technologie "Machine Learning" pour un drone quadcopter
- [E] CANTARIN COFINO Ivan Régulation de voies navigables : le canal Charleroi-Bruxelles et son impact sur la Sambre
- [H] JULIEN Martin Asservissement d'une centrale de traitement d'air et identification automatique de process
- [E] KABAKAMANY MAMBA KALALA Lionnel Conception et implémentation d'un contrôleur de vol pour un UAV à voilure fixe en configuration canard
- [E] MASSON Colin Conception et implémentation d'un contrôleur de vol pour un drone en configuration canard
- [H] SCOHY Matéo Conceptions et améliorations liées au domaine HVAC au sein de la maison de Mariemont

### 1.2. SYSTÈMES SÉQUENTIELS

- [E] MANGELEER Denis Borne de distribution automatique de bracelets RFID

### 1.3. ROBOTIQUE

- [G] BECKERS Tim Conception d'un bras robotique interfacé en réalité virtuelle
- [E] DAVID Mathieu Implementing a self-balancing robot using ROS as a technology demonstrator
- [E] HAMMOUD Mariam Etude de la commande en effort d'un système robotique de co-manipulation pour l'assistance à la découpe osseuse en chirurgie prothétique du genou

## 1.4. AUTOMATES PROGRAMMABLES

[H]	AVENA Adrien	Revamping de la ligne d'extrusion Collin tri-couches : programmation et configuration du PLC, HMI et serveur OPC
[P]	BAIJOT Justin	Automatisation du suivi de production de machines de pré-étirage de film
[E]	de SCHRYNMAKERS de DOR-MAEL Benoît	Etude de faisabilité pour rationaliser l'architecture contrôle-commande de projets en petite hydro-électricité
[E]	DENOEL Guillaume	Projet démonstrateur de l'utilisation de Matlab Simulink pour la programmation d'automates industriels au travers de TIA portal
[P]	DEPIERREUX Jérôme	Rénovation d'une ligne de peinture automatisée
[E]	DOIGNY Geoffrey	Automatisation d'une station de démergement pour le Vietnam
[P]	FAYS Robin	Mise à niveau de la configuration matérielle et du pupitre opérateurs d'une machine de découpe de bobines de films auto-adhésifs
[H]	HENRY Guillaume	Etude de modernisation et automatisation d'une ligne métallurgique de planage de tôles
[P]	HORMAUX Merlin	Analyse et amélioration de la sécurité sur une ligne de production et établissement d'un plan de consignation
[E]	LINCE Joachim	Développement d'un module "ready-to-use" de contrôle d'accès sur base d'une plateforme Raspberry Pi et du langage de programmation Python
[P]	MAHY Pierre	Suivi et traçabilité de cylindres d'impression sur une ligne de production de vinyle
[E]	NOEL Bastien	Communication entre ouvrages du réseau de collecte des eaux usées, appliqué aux stations de pompages du réseau d'Andenne
[E]	NOTTE Guillaume	Modernisation d'une station de pompage et traitement d'eau à Wavre - GSK
[P]	ROZIER Romain	Substitution et amélioration de l'automate permettant de gérer la séquence du Flying-Splice (séquence automatique du changement de bobine)
[P]	STREPENNE Mathieu	Modernisation d'un automate devenu obsolète régulant la ventilation d'un hall de production de feuille de cuivre
[H]	TABURIAUX Benoît	Building Management System d'un Data Center – Programmation et supervision

- [E] TROCH Gabriel Mise en place d'un outil de gestion de mouvements hydrauliques via l'automatisation pour une presse et cisaille et étude sur les coups de bélier
- [H] VANDENDRIESSCHE Bertrand Etude, optimisation et revamping de lignes de production industrielle
- [H] ZARE Abdoul-Latif Développement et intégration d'un système de suivi de production en temps réel

#### 1.5. CAPTEURS ET INSTRUMENTATION

- [E] COLLIN Michaël Design d'un banc d'essais pour les thermostats intelligents
- [E] DKHISSI Hamza Amélioration et développement d'un système de supervision et de traçabilité au moyen de microcontrôleurs au sein d'une production pharmaceutique
- [G] GOLDONI Arthur Du capteur à l'économie d'énergie : monitoring énergétique appliqué aux processus de l'industrie
- [H] LEGRAND Matthieu Conception d'un système d'acquisition de température et d'humidité en plusieurs niveaux d'un silo à grains
- [H] MAROT Arthur Création d'un standard d'équipement de contrôle optique réglementaire
- [E] VAN STEENBERGH Thomas Etude d'amélioration et de valorisation du monitoring énergétique proposé par TPF-Utilities

#### 1.7. MODÉLISATION

- [G] HERVELLE Manon Cartographie d'un stock via un capteur laser et exploitation pour la génération automatique de trajectoire
- [E] SIVACIYAN Grégory Modélisation et optimisation d'une colonne strippant du "slurry PVC"

#### 1.8. APPLICATIONS DE L'AUTOMATIQUE

- [G] BALSACQ Corenthin Optimisation de la soutireuse Magnums des bières de Chimay
- [G] DE COOMAN Edwin Revamping d'un système de tri automatisé et robotisé

## 2. CHIMIE

### 2.1. CHIMIE INDUSTRIELLE ET PROCÉDÉS PILOTES

- |     |                     |   |
|-----|---------------------|---|
| [P] | BERTRAND Christophe | Theoretical and experimental study on effects of carbon monoxide addition on explosion characteristics of fossil fuel-air   |
| [G] | GABRIEL Charlotte   | Remise en service d'un équipement pilote d'extraction au CO <sub>2</sub> supercritique  |
| [G] | GAZZOTTI Benoît     | Mise au point d'une bière locale au Burkina Faso  |
| [G] | GEURTS Carl         | Analyse automatique des vibrations de réducteurs stratégiques & étude et analyses des variations du cru   |
| [G] | HOUBEN Antoine      | Ammonia Plant Modelling on VALI 5   |
| [H] | JOURET Amaury       | Mise en pratique et amélioration de différentes couches de protection dans la gestion de la sécurité des procédés dans l'unité de production de chlorure de vinyle                                      |
| [P] | LEMPEREUR Axel      | Etude des variations rhéologiques du feedstock d'injection et optimisation de la méthode de mélange.  |
| [G] | MICHEL Samuel       | Artificial Neural Network Unit Control at Biowanze  |
| [G] | QUOIDBACH Jérémy    | Test Rig Development for Dual-Fuel Combustion Characterization in Optical Constant-Volume Vessel  |
| [H] | TISON Romain        | Pilotage du procédé PVC via un système numérique de contrôle et de commande (SNCC) : Optimisation de la génération d'alarmes et description des actions à entreprendre suivant la criticité des alarmes |

### 2.2. BIOCHIMIE – BIOTECHNOLOGIE

- |     |                   |   |
|-----|-------------------|---|
| [H] | DECRAENE Xavier   | Approches comparées de l'estimation de l'état sanitaire des vendanges                   |
| [G] | MARDAGA Guillaume | Conception, réalisation et intégration d'une solution de digesteur modulaire de surface |

### 2.3. BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

- |     |               |   |
|-----|---------------|---|
| [H] | MUSY Valentin | Développement de nouveaux réactifs immunologiques de dosage de l'alpha 1-microglobuline et de l'antistreptolysine O |
|-----|---------------|---|

## 2.4. CHIMIE DES MATÉRIAUX

[H]	ABDELMOUMENE Samia	Evaluation de la méthode du module d'écrouissage comme indicateur de la résistance à la fissuration lente de polyéthylène
[G]	CALVO-LORENTE Luis-Miguel	Étude des méthodes d'analyses et de la qualité des poudres de polyamide 12 pour la fabrication additive de pièces par SLS
[H]	CORDIER Sophie	Influence de paramètres physicochimiques du polyéthylène sur le comportement en fluage
[H]	GRUGEON Martin	Caractérisation des paramètres responsables de la gélification, du séchage et des propriétés de nouvelle génération de vitrage anti-feu
[G]	HEINEN Cyril	Analyse de l'intérêt technique et financier du remplacement d'une machine de production de moulures PU
[H]	KASSALIAS Alexis	Caractérisation d'un polybutadiène vitrimère
[H]	MULKIENLS Benjamin	Etude de différents paramètres qui influencent l'adhésion de la peinture sur des pièces plastiques à base de polypropylène destinés au secteur automobile
[G]	OGER Goran	Stabilisation et optimisation du procédé de recyclage de thermodurcissables

## 2.5. GÉNIE CHIMIQUE – OPÉRATIONS UNITAIRES

[G]	ADAM William	Etude de l'énergie spécifique du processus d'extrusion du polyéthylène expansé
[H]	COPPIN Corentin	Etude hazop/sil de l'unité de granulation au sein de Yara Tertre
[H]	HANOTIEAU Justin	Synthèse de nouvelles structures de catalyseurs metallocènes de type bis-indényle en vue de la production de polypropylène isotactiques de hautes masses molaires
[G]	HARRABI Salem	Amélioration des performances énergétiques du refroidissement post recuit
[G]	LEGRAND Denis	Modular Coconut Oil Processing Plant Design
[H]	SCHELLENS Thibault	Projet LR (Biomat) : Etude et optimisation d'un système de pyrolyse de biomasse en lit fluidisé

### 3. CONSTRUCTION

#### 3.1. STABILITÉ ET RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

- |     |                        |  |
|-----|------------------------|--|
| [E] | KOUASSI Kouadio        | Elaboration, étude et développement d'une méthode d'exécution d'un pont portique ferroviaire, en limitant au maximum les contraintes liées à l'exploitation ferroviaire, notamment en évitant les renforcements de voies |
| [E] | STRADELLI Maxime       | Caractérisation des efforts de vents sur les garde-corps   |
| [E] | SWENNEN Louis          | Analyse de l'impact des effets différés du béton sur les déplacements horizontaux dans les tours de grandes hauteurs   |
| [E] | TSAGUE DONGMO Narcisse | Conception, modélisation, et étude d'une passerelle – gare piétonne au-dessus des voies et quais à la gare d'Ottignies   |

#### 3.2. CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

- |     |                |   |
|-----|----------------|---|
| [G] | FRAITURE Alix  | Development of a tool to produce, at the preliminary design stage, the Bill of Quantities of a 1 wide modular recovery boiler |
| [G] | MORTIER Romain | Calcul sismique d'un escalier de secours métallique   |
| [G] | REMY Simon     | Suivi du fonctionnement continu d'une unité biogaz et de son stockage au Burkina Faso   |

#### 3.3. BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT

- |     |                            |   |
|-----|----------------------------|---|
| [E] | LEBOULANGER-EVEN Guillaume | Détermination du profil d'un toron de précontrainte en forme libre et analyse technico-économique du procédé de mise en œuvre |
|-----|----------------------------|---|

#### 3.4. GÉOTECHNIQUE – MÉCANIQUE DES SOLS

- |     |                |  |
|-----|----------------|--|
| [E] | DETRY François | Étude des fondations superficielles soumises à l'arrachement |
|-----|----------------|--|

#### 3.5. HYDRAULIQUE – ASSAINISSEMENT

- |     |                |   |
|-----|----------------|---|
| [E] | LOCIGNO Jérôme | Optimisation du fonctionnement des collecteurs centraux des boulevards Lemonnier et Anspach |
|-----|----------------|---|

## 3.6. MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

- |     |                   |  |
|-----|-------------------|--|
| [G] | BRUCCULERI Adrien | Valorisation de granulats recyclés et artificiels dans les bétons maigres : formulations et expérimentations                   |
| [E] | JILOUL Abdessamad | Evaluation de la performance d'un procédé de renforcement de connecteurs boulonnés pour les poutres et poteaux massifs en bois |
| [P] | LEJEUNE Loïc      | Optimisation du mode constructif ; les éléments préfabriqués dans un immeuble à appartements                                   |
| [E] | LUYTEN Alexandre  | Isolation appliquée sous chape – Polyuréthane projeté  |
| [E] | RENAULD Sébastien | Influence de la configuration d'une façade sur la propagation de l'incendie  |

## 3.7. PROCÉDÉS ET TECHNOLOGIE

- |     |                                 |  |
|-----|---------------------------------|--|
| [E] | BEN BAHIDA Asmae                | Nouvelles dispositions en matière de géométrie routière en Wallonie  |
| [E] | BOUJAID Adil                    | En quoi la gestion de la logistique, en ce compris les transports, les manutentions et le stockage, des matériaux influencent-t-ils l'organisation du chantier ? |
| [G] | DE CECCO Emilie                 | Optimisation des techniques spéciales et mise en conformité d'un quartier opératoire   |
| [E] | de JAMBLINNE de MEUX Maximilien | Elaboration d'un workflow BIM au sein d'un bureau de Géomètre  |
| [E] | DECROCK Julie                   | Lean Integrated Project Delivery (LIPD) applied to the Belgian construction industry   |
| [E] | DEMAERSCHALK Bastien            | Automatisation de l'acquisition de données et génération de rapports automatiques pour un essai de portance du sol   |
| [E] | DOCKX William                   | Observations et analyses de gaspillages sur chantier dans le cadre de l'application de la philosophie Lean   |
| [E] | DRUET Antoine                   | Optimisation de la réalisation d'offre dans le cadre de rénovation résidentielle à Bruxelles   |
| [G] | GENICOT Tom                     | Développement d'un logiciel d'analyse de rentabilité d'une trancheuse de sol   |
| [E] | GEUENS Anke                     | Réalisation d'une charte de modélisation pour l'extraction de quantités de Revit   |
| [E] | IZMAR Najim                     | Développement d'une méthode de détection et de quantification de la fissuration du béton par analyse d'images digitales  |
| [G] | MEYERS Olivier                  | Building Information Modelling implementation in design and build procurement  |

- [G] SCHAQUEUE Romain Sur base de l'étude de données d'un chantier, développement d'un outil évaluant la pertinence de la préfabrication plutôt que le bétonnage sur place.
- [E] SCHNEIDER Dylan Analyse de l'impact d'un nouveau produit de décoffrage sur les essais de durabilité du béton
- [E] VAN BENEDEN Morgan Amélioration acoustique d'une paroi intérieure en ossature bois
- [E] VAN HAELEN Alexis Conception d'une unité mobile de production d'une poutre en bois
- [G] WITVROUW Florian Qualité de l'air dans les écoles : évaluation, mesures et solutions

### 3.8. PATHOLOGIE ET RÉHABILITATION DES OUVRAGES

- [E] ADEK Anas Etude du renouvellement des tabliers métalliques du passage inférieur de la chaussée de Mons par des tabliers ballastés en béton
- [E] BAITAR Imad Propositions de solutions de réhabilitation durable de la route N275
- [G] BONGIOVANNI Giuseppe Etude comparative des techniques de restauration des structures de planchers en bois dans le cadre du château de Jehay
- [E] FERRANTE Bruno Reconversion d'une friche industrielle : Reconnaissance de Périmètre de Remembrement Urbain. Site "Tournai 1 : Business Park" à Tournai
- [E] TSHINKENKE VILA Tshink Revêtement de la N275 : expertise des dégradations

## 4. ÉLECTRICITÉ

### 4.1. ÉLECTRICITÉ GÉNÉRALE

- [P] QUIRYNEN Sébastien Remise en état et automatisation des installations de chauffage et d'éclairage de deux bâtiments

### 4.3. ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- [E] BOUCQUEY Antoine Design and Modeling of Multilevel Converter for Drivetrains and Stationary applications
- [E] DE CAT François Study and design of a proof of concept of a battery range-extender trailer for a heavy-duty electric vehicle

- [E] VANDENHOVE Thomas Identification and real-time validation of component characteristics of a power electronic converter

#### 4.4. PRODUCTION – TRANSPORT – DISTRIBUTION – RÉSEAUX

- [E] CHARTIER Quentin Smart Grid laboratory. Development of an educational tool for Smart Grids  
 [E] DEMOULIN Antoine Simulation numérique et dimensionnement d'un micro-réseau

#### 4.5. APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'ÉLECTRICITÉ

- [P] BLEES Gilles Mise en place d'un système réel d'identification électrique d'un four à poche  
 [E] DJINSI Valery Gestion des flux d'énergie dans une moto électrique à volant d'inertie  
 [E] EL HABSAOUI Younes Etude de mise en conformité électrique et des conditions climatiques pour la modernisation d'un train restaurant  
 [E] HARPIGNY Gauthier Analyse de défauts sur des matériaux isolants haute tension utilisés dans le domaine aérospatial via la méthode des décharges partielles

#### 4.7. APPLICATIONS ÉLECTRIQUES DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

- [E] BORDET Mathieu Design of a microgrid system : power management  
 [E] GHEQUIERE Briec Design d'un banc d'essai pour les technologies solaires  
 [E] VAN DEN HOVE D'ERTSEN-RYCK Guillaume Design of a microgrid system : sizing of the components

### 5. ÉLECTRONIQUE

#### 5.1. SYSTEMES EMBARQUÉS – COMPOSANTS PROGRAMMABLES

- [E] ANIZET Thomas Implémentation d'une contre-mesure face à une attaque par analyse de la consommation de puissance d'un circuit intégré de chiffrement AES  
 [G] ANTIGNAC Axel Conception d'un système de mesures connecté  
 [E] DE KEYZER Paolo Développement d'un dispositif intelligent de consommation énergétique d'un logement

[H]	DUPIRE Simon	Conception d'un transmetteur de conditions environnementales
[E]	GAROFALO Steven	Design of a smart heater automotive electronic control unit
[G]	GOFFIN Valentin	Design and conception of interacting devices improving contact during events
[H]	INSALACO Gioacchino	Système d'acquisition embarqué pour la production des allumeurs 2"75 de chez Thales Défense
[G]	LEDUC Laurent	Réalisation d'un capteur télémétrique compact
[E]	NOOTENS Alexis	Etude et conception d'un boîtier modulaire et multi-protocoles destiné au monitoring énergétique - GreenBox XV -
[E]	STENHOUSE Quentin	Déplacement et positionnement d'un robot autonome au moyen de la technologie ultra large bande

## 5.2. ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE

[E]	BANNOUR Oussema	Circuit de régulation de fréquence d'un onduleur pleine onde pour transmission d'énergie sans contact
[G]	BIEMAR Jean	Développement d'une armoire permettant la sécurisation de vélos partagés sur un site en lien avec le système IT existant.
[G]	GÉRARD Damian	Module radiopiloté pour la synchronisation horlogique de profils d'éclairage de luminaires LED
[E]	HAGOPIAN Armen	Implementation and validation of a new control IC used for DC/DC converters in a space environment
[E]	PUISSANT BAEYENS Victor-Emmanuel	Conception et réalisation d'un amplificateur de classe D pour le pilotage d'un Shaker Electro-dynamique
[H]	VLASSEMBROUCK Florent	Etude et implémentation de solutions infrarouges pour la polymérisation de silicone

## 5.3. APPLICATIONS SCIENTIFIQUES – ÉLECTRONIQUE MÉDICALE

[G]	BRIES Arnaud	Simplified control of passive matrix screen-printed electroluminescent display devices
[H]	DEJAEGER Christophe	Utilisation de la réalité virtuelle et de capteurs inertiels dans le développement d'un test clinique évaluant la mobilité de la nuque

## 5.4. MESURES – INSTRUMENTATION – SIMULATION

- |     |                    |   |
|-----|--------------------|---|
| [G] | CARPENTIER Marie   | CARLA : Automatisation de caractérisations électriques et photométriques de LED en fonction du courant et de la température |
| [E] | DE DECKER William  | Développement d'un scanner à ondes électromagnétiques pour la pré-certification de prototypes électroniques                 |
| [P] | ETIENNE Christophe | Instrumentation et expertise vibratoire d'équipements rotatifs critiques sur une ligne de défilement                        |
| [H] | LALOUX Sébastien   | Amélioration d'un prototype de détection d'impacts sur verre  |

## 5.5. TÉLÉCOMMUNICATIONS – TECHNIQUES DE TRANSMISSION

- |     |                                |   |
|-----|--------------------------------|---|
| [H] | FASSEAUX Nicolas               | Etude et conception d'un objet connecté générique sur base du protocole de communication Zigbee       |
| [E] | LENAERTS Alexandre             | Conception d'un environnement de sécurité permettant le vol de drone pendant la nuit                  |
| [G] | NTEKAM-TOKO Dominique-Marcelin | Microsystème d'acquisition de pression avec transmission de données wireless par Bluetooth Low Energy |

## 5.7. SON – IMAGE – ÉCLAIRAGE – OPTOÉLECTRONIQUE

- |     |                            |  |
|-----|----------------------------|--|
| [E] | CHIHAI Zakaria             | Etude et développement d'un luminaire LED en puces nues pour la minimisation de la consommation électrique |
| [E] | KABEMBA Ndelela Christelle | Amélioration des performances d'un modèle informatique de reconnaissance de mouvement                      |

## 5.8. APPLICATIONS DE L'ÉLECTRONIQUE

- |     |                 |  |
|-----|-----------------|--|
| [E] | ALBERT Emile    | Développement d'une solution générique de pilotage sans fil de prises de courant via un gestionnaire de domotique en ligne |
| [H] | COURLA Mélissa  | Optimisation d'une solution utilisant l'informatique géo-distribuée surveillée avec un détecteur de panne                  |
| [E] | EL ALAMI Ismaël | Remplacement de porte-clés en technologie Dallas par des porte-clés de technologie RFID sur une armoire DinKey             |

- [E] LEMENU Valentin Etude expérimentale d'un capteur thermique Far Infrared thermal sensor array pour la détection et la classification de véhicules automobiles en mouvement
- [E] MORTL GARDELLIM Matheus Digital Solar Array Regulation for Spatial Applications

## 6. ENVIRONNEMENT

### 6.1. ASPECTS ÉCOLOGIQUES DES TECHNIQUES DE PRODUCTION

- [H] GUZEL Sevin Etude des techniques de séparation des phases présentes dans les boues issues du traitement des eaux résiduaires des raffineries
- [H] HUPET Samuel Traitement de composés organiques volatils émis par une usine de production de polychlorure de vinyle

### 6.2. POLLUTIONS ET NUISANCES

- [H] VAN CUTSEM Arnaud Energy balance of a temporary office on a construction site in the united arab emirates: sustainable solutions to reduce the environmental footprint

### 6.4. TRAITEMENT DES DÉCHETS

- [P] QUOIRIN Nicolas Optimisation de la filtration des boues blanches du cycle Kraft

### 6.5. DÉVELOPPEMENT DURABLE

- [E] BARAKAT Oumaïma Integration of sustainability parameters in BIM models
- [E] GOETYNCK Grégori Analyse du monitoring des déchets de construction – étude statistique du tri et du remplissage des containers
- [G] HUCHANT Hugo Contribution au développement d'une unité mobile de biométhanisation à usage domestique au Bénin
- [G] PRÉVOT Elise Audit énergétique d'un laboratoire marin situé en zone isolée

- [E] SCHOLASSE Charles L'énergie grise et les ressources dépensées pour la construction et l'équipement de bâtiments performants ne sont-elles pas plus importantes que l'énergie économisée par rapport à des bâtiments standards sur leur durée de vie ?
- [G] SCHOONBROODT Justine Stratégie Zéro Energie dans la ville de Verviers : Développement d'un outil identifiant les gains énergétiques potentiels d'un parc immobilier

## 7. GÉOMATIQUE

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

- [E] DE CEULENEER Anne Diminution du temps de parcours sur l'axe de chemin de fer Bruxelles-Luxembourg
- [E] VANDENSTEEN Florian Scanner 3D sur chantier oui mais pourquoi et comment ?
- [E] VANGERMEERSCH Basile Validation de la valeur ajoutée d'une technique de photogrammétrie dans le cadre de l'estimation des volumes extraits d'une exploitation souterraine

### 7.6. EXPERTISES

- [E] BALZA Ludovic Projet de rapport d'incidence de la station Rigga du programme Métro 3 – Nord-Bordet
- [E] BHATTI Iqbal Recherche et évaluation d'immeubles de rapport en vue d'une location aux étudiants
- [E] VANDERWEERDEN Alexandre Visions différenciées des acteurs du marché immobilier bruxellois

## 8. GESTION

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

- [H] DE VOECHT Julien Analyse organisationnelle de l'entreprise COLAS RAIL BELGIUM
- [E] DRUGMAND Antoine Etude de réimplantation d'une chaîne de maintenance de bogies
- [H] FOURNEAUX Antoine Projet de réorganisation d'une ligne de production à la SABCA

- [G] ROEKENS Killian Etude et amélioration de l'efficacité d'une ligne d'embouteillage
- [H] SULMON Pierre Application des méthodologies Lean Construction à un projet mené par l'entreprise LE-PAGE
- 8.2. CONTRÔLE QUALITÉ - FIABILITÉ
- [G] HARVENGT Guillaume Optimisation de la production de cylindres en carbure de tungstène sur une presse rotative
- [P] WENMACKER Naël Optimisation du processus de dosage de sauce en industrie agroalimentaire
- 8.3. SYSTÈME QUALITÉ – ENVIRONNEMENT – HYGIÈNE ET SÉCURITÉ
- [H] LOUHICHI Mohamed Mise au point d'une procédure d'utilisation d'une fraiseuse numérique et de la sécurité liée à cette utilisation
- 8.7. MANAGEMENT – STRATÉGIE – PROBLÈMES GÉNÉRAUX
- [E] CRAPPE Martin Etude et intégration d'un robot type UGV au sein des activités Elia
- 8.8. DROIT - PROCÉDURES
- [E] OUEZGHAR Ibrahim Soumission d'offres pour des marchés publics en vue de la rénovation des installations électromécaniques de stations de métro au sein de la région Bruxelles - Capitale
9. INFORMATIQUE
- 9.1. ANALYSE – MODÉLISATION
- [G] CORNETTE Alexandre Simulation de l'écoulement du gaz au sein d'un dispositif de déposition sélective de poudre
- [H] DESMETTE Florent Investigation et amélioration des techniques de modélisation de reconstruction d'accident sur PC-Crash
- [H] ETIENNE Nicolas Etude et modélisation de la structure de couple d'un calculateur automobile Bosch ME7

- [E] GURU Gaétan Design and Implementation of a Social Networks Analysis framework combining the Neo4j Graph Database and the R programming Language
- [G] VANDENKERCKHOVEN Jean Etude de la fiabilité de reconstruction d'accidents à l'aide du logiciel PC-Crash
- 9.2. PROGRAMMATION – LOGICIELS – SYSTÈMES D'EXPLOITATION
- [E] BOUTLENDJ Salim Conception et implémentation d'une infrastructure IoT pour le smart building
- [H] SANIER Logan Programmation d'une plateforme de simulation du contrôle d'un réacteur de savonnerie en Simatic PCS7 et Simatic Batch
- 9.3. TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES
- [G] RIXHON Nicolas Optimisation du traitement d'images par stitching sur GPU
- 9.4. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET SYSTÈMES EXPERTS
- [E] KESSELS Julien Mise en place d'un tutoriel intelligent et d'outils d'aide à la création de questions d'examens par des algorithmes de machine learning
- [E] LEKENS Amaury Système de prédiction des niveaux de compétence IT de programmeurs par machine learning
- [G] MONFORT Benoit Analyse de l'inversion d'un modèle physique par machine-learning en vue d'une implémentation dans une boucle fermée
- [E] MUGABO PITIE Hubert Anomaly detection on wind turbines components, before they reach a dangerous level, with deep learning methods applied on SCADA dataset
- [H] PARENTANI Maxime Benchmarking for proof of concept in the context of augmented reality applications: Pose recognition of 3D objects
- 9.5. RÉSEAUX INFORMATIQUES
- [G] PINCKAERS Mathilde Simplifier la production vidéo sur IP : élaboration d'une méthode d'initialisation automatique d'un réseau Ethernet
- [E] RANDRIAMORA ANDRIANT-SIORY Louis Automatisation des tâches de monitoring et déploiement dans le cloud virtualisé

## 9.8. TECHNOLOGIE DE LA COMMUNICATION

- |     |                       |   |
|-----|-----------------------|---|
| [G] | BOURS Maxime          | Industrie 4.0, des concepts au cas pratique d'une chaudière monitorée grâce à l'IoT             |
| [G] | FENITRA-LECLERCQ Meva | Résilience d'un système en réseau et recherche de solutions de reconfiguration                  |
| [G] | MAHIEU Alexis         | Réseau de communication sans fil pour l'IoT   |
| [E] | SELLESLAGH Tom        | Réalisation d'une architecture IoT distribuée autonome basée sur les concepts de micro-services |

## 11. MÉCANIQUE

### 11.1. MÉTROLOGIE ET INSTRUMENTATION

- |     |                      |   |
|-----|----------------------|---|
| [H] | COQUETTE Gérard      | Etude de l'analyse automatique des résultats ultra-sonores sur les pièces collées à la SONACA   |
| [H] | DARDENNE Lambert     | Remplacement of a timing system for winter tire gripping test in winter conditions  |
| [E] | MONTHE NJIKE Thierry | Simulation de l'usinage d'une pièce avec le "robot IRB120" de ABB à l'aide des logiciels : ROBOSTUDIO 6.08 de ABB et NX 12 de Siemens |
| [G] | STEINAU Alexandre    | Analyse vibratoire des pompes centrifuges en conditions d'essais  |

### 11.2. FABRICATION MÉCANIQUE

- |     |                                |   |
|-----|--------------------------------|---|
| [H] | CRUYSMANS Réginald             | Design et développement du Linedock 15 pouces   |
| [E] | de PIERPONT Alexis             | Design and assembly of a small scale membrane distillation system   |
| [E] | D'HAESELEER Guillaume          | Optimisation de la conception des outillages de thermoformage de pièce composite  |
| [E] | DONMEZA FOUEGAP Elodie Mabelle | Développement et mise en place d'un système de conditionnement de résine  |
| [H] | DUTERME Simon                  | Conception d'un bas moteur thermique essence éligible à l'éco marathon Shell  |
| [E] | FLAMENT Joachim                | Projet Wingcat, un prototype de motocycle à deux roues à protection augmentée   |
| [P] | GODFROID Thomas                | Etude d'un concept de semi-remorques modulables dans les convois exceptionnels  |
| [E] | HERBERT Louis                  | Experimental investigations on the performance of a wind turbine scale model with focus on electric and mechanical quantities |

[E]	HOUDMONT Basil	Développement de fixateurs externes low-cost pour des soins orthopédiques en Côte d'Ivoire, analyse de leur rigidité par rapport au modèle européen actuel et optimisation d'un modèle biplan par éléments finis
[G]	LUCASSEN Guillaume	Continuous Galvanizing Line project in China: Technical and commercial aspects
[G]	MARCHAL Martin	Conception et développement d'un système d'égalisation de couche de poudre multi-matériaux en fabrication additive
[E]	MAZY Lara	Design of a wing leading edge aerodynamic skin
[E]	MOANE SAHLI Zakaria	Etude et reconception d'une source à électrons pour un accélérateur à particules industriel. Optimisation de coûts de production et de la maintenance
[E]	NAVEAU Pierre-Paul	Conception de la 2CV CUP DRM pour les 24h de Spa Francorchamps
[G]	SARTOR Jérôme	Développement d'un fauteuil mono roue tout terrain en bambou pour personnes à mobilité réduite en vue de la création d'un projet d'entreprise viable et profitable
[E]	VERDONCK Alexandre	Etude d'un mécanisme de verrouillage pour pistolet
[E]	VERMEIREN Geoffroi	Sécurisation et optimisation de la chaîne d'approvisionnement des slats de l'Airbus A320

### 11.3. CONSTRUCTION DES MACHINES

[G]	BALTHASAR Tom	Dimensionnement d'un système de maintien et de convoyage des munitions 120mm dans une tourelle de char de combat
[G]	BASTIN Romain	Conception d'un système de manutention de tôles pour l'alimentation d'une presse plieuse
[E]	BEN AMOR Mohamed	Corrélation d'un modèle mécanique vibratoire par éléments finis (ANSYS) avec des mesures effectuées sur des unités réelles
[G]	BONAVENTURE Quentin	Conception et réalisation d'une machine automatique de placement d'amorces sur douilles de balle 5.7
[E]	BREYNE Louis	Conception d'une poignée intelligente captant les forces lui étant appliquée en vue de l'implantation dans un véhicule propulsé à la main
[P]	GUILLAUME Mathieu	Etude de faisabilité et dimensionnement d'un Superflat Screed électrique

[H]	JACQUEMIN Guillaume	Etude et amélioration d'un enrouleur de bandes en caoutchouc
[H]	KESTENS Corentin	Truck Loading system
[E]	LEKEMO TENANGUE Alex	Etude et optimisation du coffret de commande d'un interrupteur-sectionneur T 3KV D.C à partir du système actuel en respectant la norme Infrabel 457 003
[H]	MARTIN Louis	Conception d'un nettoyeur automatique des voies d'un séchoir tunnel
[G]	MOULIN Benoît	Valorisation des sous-produits de production de l'huile d'argan
[E]	OUAZREF Said	Etude et conception d'un pater-noster adapté aux besoins de l'entreprise
[H]	PRAET Charles	Conception et réalisation d'un retourneur d'andains de compost destiné au marché africain
[H]	RIGA Kevin	Conception d'une cureuse de fossé
[G]	SMAL Quentin	Mechanical design of a drone docking station integrated on a turret
[E]	VALLEE Eliott	Conception, fabrication et validation d'une machine de tests en fatigue pour plusieurs applications médicales : implant total de genou, fixateur externe de tibia et implant fémoral pour la hanche

#### 11.4. TECHNOLOGIE – PRODUCTIQUE

[E]	LHONORE Tom	Caractérisation d'un procédé de fabrication additive (EBM) : étude de la rugosité des pièces EBM dans le but d'améliorer les paramètres des pièces en sortie machine et comparaison entre les différents procédés de finitions
[E]	TCHAKOUNTE DZOGENG Rodrigue	Mise en œuvre du centre d'usinage Cincinnati Arrow 500 de l'ECAM via le logiciel NX12 de Siemens pour le fraisage des pièces en aluminium

#### 11.5. MAINTENANCE

[G]	BAWIN Aurélien	Fiabilisation et optimisation des équipements d'une ligne de production de fibres alimentaires
-----	----------------	--

## 12. MÉCANIQUE DES FLUIDES ET THERMODYNAMIQUE

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

- |     |                            |   |
|-----|----------------------------|---|
| [E] | de LAMINNE de BEX Rodolphe | Analyse d'un système de chaufferie avec cogénération  |
| [E] | PIROTTE Corentin           | Conception et mise en place d'un dispositif de pesage de bois à l'entrée de la centrale de gazéification de Mont-Godinne afin de déterminer précisément les performances du processus de celle-ci |
| [G] | QUEVRIN Augustin           | Impact de l'arrangement des échangeurs sur la température de design des tubes pour les chaudières de récupération verticales  |
| [H] | SPERTI Thomas              | Optimisation du fonctionnement d'une cogénération associée à un réseau hydraulique  |

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

- |     |                  |   |
|-----|------------------|---|
| [G] | BECKER Aurélien  | Determination & Analysis of lubricant properties inside a Scroll Compressor   |
| [G] | BECKERS Jonathan | Transition écologique 2020-2030 dans le secteur du retail : modélisation de la consommation énergétique relative à la production frigorifique et du chauffage |
| [G] | CHENOT Fabian    | Performance improvements of the cooling system of medical refrigerators and freezers  |
| [E] | VERHEYDEN Nils   | Analyse écoénergétique des différentes techniques de réfrigération soutenue par une étude de cas  |

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

- |     |                   |   |
|-----|-------------------|---|
| [H] | BELGNAOU Yassin   | Etudes technique et économique du système de refroidissement d'un auditoire                                   |
| [H] | CREMER Alexis     | Etude de l'impact environnemental de règles de bonne pratique dans le dimensionnement d'une installation HVAC |
| [H] | DETILLEUX Cyril   | Vade-mecum et étude pratique des centrales de traitement d'air  |
| [H] | DUPONT Quentin    | Pistes d'économies d'énergie dans la ventilation des salles propres et application sur le service PMA du GHDC |
| [P] | HOUCARD Gauderick | Possibilités d'énergies renouvelables pour un gîte avec piscine   |

- [H] MICHAUX Jeremy Dimensionnement et Optimisation Techniques des dispositifs HVAC d'un étage type du projet Quatuor Bruxelles
- [E] OUAHHABI Wassime Etude et recherche de solution énergétique pour un bâtiment accueillant des enfants en bas âges
- [H] STEENBERGHS Quentin Analyse et étude d'une installation HVAC dans le domaine du nucléaire
- [H] YUMUSAK Alexandre Modélisation et optimisation des circuits aérauliques et hydrauliques d'un bâtiment tertiaire par simulations dynamiques

#### 12.4. ÉNERGIES RENOUVELABLES

- [H] DENIS Clément Etude de préfaisabilité d'une microcentrale hydroélectrique à fort dénivelé et faible débit
- [P] HUAUX Florent Aménagement d'un site de méthanisation agricole
- [H] RAMLOT Antoine Etude de faisabilité d'une microcentrale hydroélectrique à destination des écluses
- [G] RENSONNET Charly Etude d'une installation solaire à concentration pour la production d'air chaud
- [E] VANHORLE Thomas Conception et réalisation d'un banc d'essai pour éolienne carénée à axe vertical GEMINI

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

- [H] CUVILLIEZ Julien Design and comparison of district heating substation control strategies
- [G] LEMAIRE Pierre Oil Film Thickness Measurement in Scroll Compressors Bearings
- [E] NGUYEN Minh-Truong Gestion de la température dans un bâtiment avec un système de contrôle moderne par des simulations numériques

#### 12.6. MACHINES THERMIQUES – THERMIQUE INDUSTRIELLE

- [G] BARBAROSSA Valentino Conception d'un banc d'essais pour turbos-hafts à berceau modulaire

#### 12.7. HYDRAULIQUE – PNEUMATIQUE – AÉRODYNAMIQUE

- [G] DELVAUX Tom Design and construction of a test bench dedicated to proportional flow control valves
- [E] GILLYNS Emmanuel Development of a high frequency response temperature sensor for turbulent flow based on a cold wire

- [G] MEIRLAEN Arthur Étude de l'influence des propriétés géométriques de la pierre sur la perte de charge d'un four à chaux PFR 2 cuves
- [E] OKEILI Zakariya Optimisation du monitoring des pressions de gaz sur les réseaux de distribution moyenne et basse pression de Bruxelles

#### 12.8. THERMIQUE DU BATIMENT

- [H] MICCICHÉ Sandro Simulation thermique dynamique d'un bâtiment historique
- [H] MITKA Nadian Procédure de conversion de bâtiments à la géothermie profonde - Application aux bâtiments du CHU Ambroise Paré (Mons)
- [G] NYSSSEN Pierre Case study of different internal insulation systems for the renovation of the "Bibliothèque Nationale du Luxembourg" with the WUFI software family

### 13. PHYSIQUE

#### 13.1. PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET APPLICATIONS

- [G] DUPONT David Design of a First Mirror Cleaning Device at 60 MHz for an Optical Diagnostic in ITER

#### 13.2. OPTIQUE – ACOUSTIQUE

- [P] DEMARD Clément Etude d'une enceinte acoustique de type line source
- [G] MEERTENS Grégory Investigation Into The Relationship Between Interfacial Stiffness And Contact Pressure Using Ultrasound

#### 13.3. PHYSIQUE DE LA MATIÈRE

- [G] GREFFE Florent Analyse et optimisation de paramètres pour la fabrication additive SLS

Tous nos remerciements aux membres du Comité d'édition :

Le Père Laurent CAPART s.J. (GRAMME), Messieurs Benjamin BERGER (ECAM), Joël VOISIN (ISICHt) et Vincent HANUS (PIERRARD).

Mesdames Anne-Michèle JANSSEN (GRAMME) et Valérie SERONT (ISICHt),  
et Messieurs Xavier VAN DEN DOOREN (ECAM) et Michel BERNARD (PIERRARD),  
Directeurs



**Secrétariat Général de l'Enseignement Catholique asbl**  
en Communautés française et germanophone  
avenue E. Mounier 100 • 1200 Bruxelles  
<http://enseignement.catholique.be> • [segec@segec.be](mailto:segec@segec.be)  
D/2020/7362/4001