



**MADE IN**  
**HEH**

—  
revue Recherche  
n°2 - septembre 2024



# 01

# INTRODUCTION



Encourager et développer la recherche au sein de notre Haute Ecole, au-delà du fait qu'il s'agit d'une exigence décrétaie dans l'enseignement supérieur, revêt une importance cruciale pour plusieurs raisons. Premièrement, la recherche contribue à l'avancement des connaissances, permettant ainsi de répondre aux défis complexes de notre société moderne. En cultivant un environnement académique axé sur la recherche, notre Haute Ecole favorise l'innovation et la découverte, éléments essentiels pour assurer le progrès technologique, éducatif et social.

Ensuite, la recherche renforce la qualité de l'enseignement. Dans les projets portés par nos membres du personnel et présentés dans ce numéro de « Made in HEH », les enseignants, en étant activement engagés dans la recherche, peuvent enrichir leur enseignement avec des connaissances de pointe et des expériences pratiques. Cela permet aux étudiants d'acquérir une éducation dynamique et pertinente, les préparant de manière plus efficace pour leur future carrière.

La recherche contribue également à la réputation et à l'attractivité de l'établissement. A la HEH, en témoigne le succès rencontré lors de la dernière édition des « Midis de la recherche », nous n'avons pas à rougir de nos projets. Ceux-ci entraînent des collaborations régionales, nationales et internationales et des innovations qui visent à positionner l'institution dans le paysage de l'enseignement supérieur. Ce n'est sans doute pas un hasard si plusieurs projets déposés par des enseignants-chercheurs de notre Haute Ecole ont été régulièrement sélectionnés dans le cadre des appels lancés chaque année par le FRHE.

Enfin, encourager la recherche dans les établissements d'enseignement supérieur joue un rôle clé dans le développement de l'écosystème dans lequel nous évoluons. Les innovations issues de la recherche peuvent se traduire par de nouvelles technologies, de nouvelles pratiques pédagogiques, de nouvelles orientations rendues possibles grâce à cette volonté affirmée de chercher constamment à améliorer ses pratiques au bénéfice de la société.

En somme, le développement de la recherche dans un établissement d'enseignement supérieur comme le nôtre est un pilier essentiel pour le progrès académique, économique et social. Dans un monde qui se questionne et qui doute quant aux chemins à emprunter, il est impératif que des institutions comme la HEH continuent à investir et à promouvoir la recherche pour maintenir leur rôle de moteur d'innovation et de développement dans la société.

— Denis DUFRANE  
Directeur-Président de la HEH.be

# Présentation de **SynHERA**



SynHERA est une asbl dont les membres sont les 19 hautes écoles (dont la HEH.be) et les 10 centres de recherche associés à ces hautes écoles (dont l'ESTISIM). SynHERA est donc la structure qui représente la recherche appliquée au sein des Hautes Écoles et Centres de Recherche associés de la Fédération Wallonie-Bruxelles. L'équipe permanente de SynHERA est constituée de 14 personnes dont des conseillers des domaines technique, agronomique, paramédical et SHS (sciences humaines et sociales). Elle a les missions suivantes :

- Former les enseignants à la recherche (formations gratuites Propulse et DiscovHEr) ;
- Diffuser les appels à projets auprès des chercheurs des HE et des CR associés ;
- Accompagner les chercheurs dans leurs projets de recherche (montage des projets, suivi des projets, gestion de la propriété intellectuelle,...) ;
- Valoriser les résultats de ces projets de recherche ;
- Promouvoir, représenter et défendre la recherche appliquée en HE ;
- Diffuser la culture scientifique des HE et de leurs centres de recherche (Plateforme Luck) ;
- Amplifier les synergies entre les Hautes Écoles et les entreprises ;
- Mettre les chercheurs des HE et de leur centre de recherche en réseau (journée des chercheurs en HE - JdCHE) ;
- Représenter les Hautes Écoles auprès des instances publiques et politiques.

La représentante de la HEH.be dans le groupe des coordinateurs recherche de SynHERA est Aline Léonet ([aline.leonet@heh.be](mailto:aline.leonet@heh.be)), enseignante au département des Sciences et technologies.

# Présentation de **ESTISIM**



Le centre de recherche associé à la HEH.be, l'ESTISIM, travaille en relation étroite avec la Commission de la valorisation de la recherche et de la formation continuée. L'ESTISIM a pour objet la recherche et l'étude, la mise au point, la publication, la réalisation, la valorisation des techniques issues de l'enseignement prodigué sur le département des Sciences et technologies de la HEH.be, directement ou indirectement, en vue de la promotion scientifique et technique de cet établissement. L'ESTISIM est membre de SynHERA.

Les forces de l'ESTISIM s'articulent autour des nouvelles technologies. Notamment dans les domaines de la bioinformatique, l'électronique de puissance, la cybersécurité, les techniques graphiques et tout ce qui concerne les infrastructures et le génie civil. Visiter notre site web pour plus de détails.

Les moyens suivants peuvent être mis en œuvre :

- Actions dans les industries ou sur le terrain ;
- Publications scientifiques, techniques ou de vulgarisation liées à l'objet
- Organisation de stages de formation ;
- Collaboration avec toute institution s'occupant des mêmes problèmes ou de problèmes annexes ;
- Tout autre moyen jugé utile ou indispensable à l'accomplissement de l'objet.

L'ASBL peut accomplir tous les actes, gratuits ou onéreux, se rapportant directement ou indirectement à la réalisation des objets de l'association. Elle peut mettre en œuvre tous les moyens humains et financiers nécessaires ; elle peut notamment recevoir des aides publiques, des royalties et des redevances.

# Projets

**00**

**09** **Midi des chercheurs**

**01**

**11** **Jagang**

12 Présentation du projet

---

**02**

**15** **Plasmagen**

16 Présentation du projet

---

**03**

**19** **Le datacenter HEH**

20 Présentation du projet

---

**04**

**23** **Projet NAO**

24 NAO, un nouvel outil d'aide à la gestion de classe ?

---

**05**

**29** **Avoma**

30 Présentation du projet

---

**06**

**33** **Exploration algorithmique**

34 Présentation du projet

---



# MIDI DES CHERCHEURS

À la HEH, une politique de valorisation de la recherche est en place depuis plusieurs années. Dans ce cadre, nous organisons le "Midi des Chercheurs", un événement où, cette année, une quinzaine de posters ont été présentés pour mettre en avant les projets de recherche en cours au sein de la HEH.be. Ces projets sont financés à la fois sur fonds propres et par des organismes comme le FRHE. L'objectif principal de cet événement est de favoriser le partage des connaissances et de créer une communauté de recherche inclusive au sein de notre institution.

Nous encourageons vivement la collaboration entre membres de tous les départements, qu'ils travaillent dans les domaines pédagogique, technique, économique, ou au département des sciences sociales. Réaliser un tel événement favorise l'élargissement de nos perspectives et met en lumière les intérêts communs entre les différents chercheurs et départements.

Par exemple, un projet dédié aux éducateurs spécialisés peut tirer parti des technologies développées par des ingénieurs en informatique, tandis qu'un ingénieur en électronique peut concevoir un prototype répondant à des besoins en pédagogie. Cette interdisciplinarité enrichit considérablement nos travaux de recherche et renforce notre impact dans le domaine de l'éducation.

Enfin, le "Midi des Chercheurs" offre une plateforme d'échanges entre jeunes chercheurs et chercheurs plus expérimentés, ce qui contribue à accroître notre communauté de chercheurs au sein de la HEH.be. Ces interactions favorisent le développement de nouvelles idées et la collaboration sur des projets innovants, renforçant ainsi la dynamique de la recherche au sein de notre institution.





Informatique

01

# JAGANG

## Autonomous intelligent security of IoT

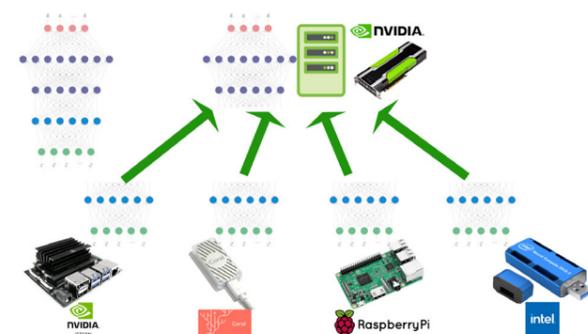
Le projet vise à renforcer la fiabilité des échanges de données entre périphériques IoT via le protocole MQTT. Bien que MQTT facilite une communication décentralisée, sa légèreté le rend vulnérable aux attaques comme par exemple l'attaque par bruteforce. L'objectif est d'assurer la sécurité des données échangées via MQTT en minimisant les risques d'interception ou de falsification. Les questions de recherche englobent la sécurisation de MQTT, l'optimisation de la bande passante, la détection d'intrusion via des mécanismes de deep learning distribué réparti sur plusieurs périphériques IoT, l'étude des vulnérabilités spécifiques, l'adaptation aux ressources limitées, et les tests des solutions proposées.



Projet financé par la Wallonie-Bruxelles Enseignement (WBE).

# Présentation du projet

L'Industrie 4.0 et l'Internet des Objets (IoT) représentent deux évolutions majeures qui transforment radicalement la manière dont les entreprises opèrent et interagissent avec leur environnement. L'industrie 4.0 englobe un ensemble de technologies numériques avancées visant à automatiser et à optimiser les processus de production. Le fondement technologique de cette révolution est l'IoT qui interconnecte des objets physiques via Internet, notamment à l'aide de protocoles (règles) particuliers comme le protocole « Message Queuing Telemetry Transport » (MQTT). Dans un contexte industriel, cela signifie que des capteurs, des dispositifs, et même des machines entières sont équipés de technologies permettant de collecter, de transmettre et de partager des données en temps réel. Ces données alimentent ensuite des systèmes d'analyse avancés qui fournissent des informations précieuses pour prendre des décisions éclairées, optimiser les opérations, et anticiper les besoins.

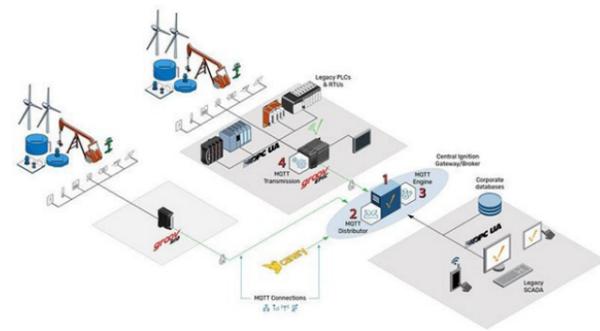


La détection précoce des tentatives d'attaques en Industrie 4.0 est devenue impérative face à une hausse significative des cybermenaces. Les environnements interconnectés et automatisés sont des cibles prisées pour des acteurs variés, allant de criminels (cyberespionnage, guerre économique, ...). La détection précoce devient ainsi cruciale pour atténuer les impacts opérationnels, prévenir la perte de données et sauvegarder la sécurité nationale. Adopter des solutions de cyberdéfense adaptées à l'Industrie 4.0 est essentiel pour anticiper et contrer ces menaces émergentes.

L'intelligence artificielle (IA) est devenue essentielle dans la détection des tentatives d'attaques en raison de la complexité croissante des cybermenaces. Face à des tactiques sophistiquées et en constante évolution, l'IA offre une solution adaptative grâce à sa capacité à évoluer et à apprendre en temps réel.

L'apprentissage profond, en tant que sous-domaine de l'intelligence artificielle (IA), se distingue par sa capacité à analyser divers types de données, y compris de vastes ensembles, avec une précision remarquable. Cette approche utilise des réseaux neuronaux profonds pour extraire des caractéristiques complexes et découvrir des schémas significatifs dans les données. Cependant, son principal défi réside dans les exigences élevées en puissance de calcul

pour son déploiement efficace. La mise en œuvre réussie de l'apprentissage profond nécessite des ressources informatiques substantielles, mettant en lumière l'importance d'une infrastructure adaptée pour exploiter pleinement son potentiel en matière d'analyse de données avancé.

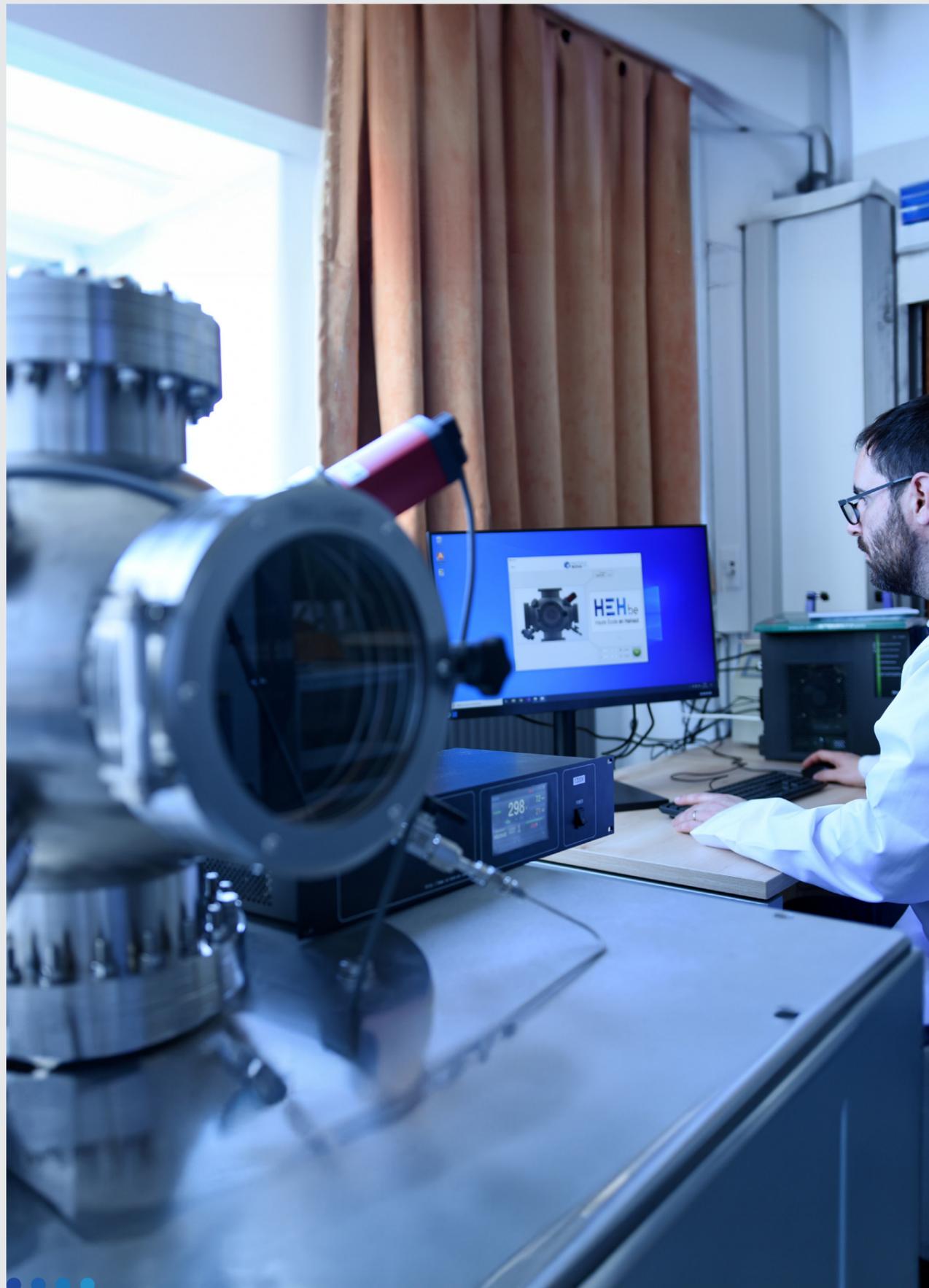


Le projet vise à créer une synergie entre des périphériques connectés dotés d'une faible puissance de calcul en les incitant à collaborer dans l'analyse du trafic de communication. Cette collaboration consiste à répartir les calculs initiaux du réseau de neurones entre ces périphériques, suivie de la centralisation des résultats sur un serveur dédié. Cette approche novatrice offre un double avantage : d'une part, elle accélère significativement le processus de détection d'attaques en exploitant la puissance combinée de plusieurs dispositifs, et d'autre part, elle minimise les coûts grâce à son aspect distribué, évitant ainsi une charge excessive sur un seul serveur central. En permettant aux périphériques de contribuer de manière collaborative à l'analyse du trafic, le projet cherche à optimiser l'efficacité de la détection d'attaques tout en rationalisant les ressources disponibles. Des expériences réalisées dans le datacenter ont permis de détecter et d'identifier des attaques menées sur le protocole MQTT.



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Vaccari, I., Chiola, G., Aiello, M., Mongelli, M., & Cambiaso, E. (2020). MQTTset, a new dataset for machine learning techniques on MQTT. *Sensors*, 20(22), 6578.
- [2] Lerat, J. S., Mahmoudi, S. A., & Mahmoudi, S. (2022). Distributed Deep Learning: From Single-Node to Multi-Node Architecture. *Electronics*, 11(10), 1525.
- [3] Thavamani, S., & Sinthuja, U. (2022, January). LSTM based deep learning technique to forecast Internet of Things attacks in MQTT protocol. In 2022 IEEE Fourth International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAIECC) (pp. 1-4). IEEE.
- [4] Thapa, C., Arachchige, P. C. M., Camtepe, S., & Sun, L. (2022, June). SplitFed: When federated learning meets split learning. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (Vol. 36, No. 8, pp. 8485-8493).
- [5] Imteaj, A., Thakker, U., Wang, S., Li, J., & Amini, M. H. (2021). A survey on federated learning for resource-constrained IoT devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(1), 1-24.
- [6] Villalba-Diez, J., Schmidt, D., Gevers, R., Ordieres-Meré, J., Buchwitz, M., & Wellbrock, W. (2019). Deep learning for industrial computer vision quality control in the printing industry 4.0. *Sensors*, 19(18), 3987.
- [7] Demertzis, K., Iliadis, L., Tziritas, N., & Kikiras, P. (2020). Anomaly detection via blockchain deep learning smart contracts in industry 4.0. *Neural Computing and Applications*, 32, 17361-17378.
- [8] Hegde, V., & Usmani, S. (2016). Parallel and distributed deep learning. *May*, 31, 1-8.
- [9] Ben-Nun, T., & Hoefler, T. (2019). Demystifying parallel and distributed deep learning: An in-depth concurrency analysis. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 52(4), 1-43.

**Électronique**

## 02

# Plasmagen

## Étude et développement d'un suppresseur d'arc dans le domaine de la pulvérisation cathodique magnétron

Le projet Plasmagen consiste à étudier et développer un prototype de générateur électrique plasma intégrant un système innovant de management d'arcs permettant d'améliorer la qualité des couches minces déposées par pulvérisation cathodique magnétron. La pulvérisation cathodique magnétron est une technique de dépôt de films minces qui leur confère des propriétés à haute valeur ajoutée. Ces dépôts permettent, par exemple, l'obtention de vitrages basse émissivité pour l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments (PEB). D'un point de vue technologique, le suppresseur d'arcs est un dispositif électronique capable de limiter la montée abrupte du courant durant la phase d'arcing, celle-ci étant responsable de l'éjection de microgouttelettes nuisibles à la qualité des dépôts. L'objectif du projet Plasmagen est de détecter et supprimer les arcs dans un temps court, de l'ordre de la microseconde.



*Projet financé par le Financement de la recherche en Hautes Ecoles (FRHE).*

# Présentation du projet

Aujourd'hui, même si nous n'en sommes pas toujours conscients, les films minces sont devenus omniprésents. Un film mince est un revêtement dont l'épaisseur peut varier de quelques couches atomiques à quelques micromètres (c'est-à-dire plusieurs dizaines de fois plus petite que l'épaisseur d'un cheveu) et sont utilisés dans de nombreux domaines. Leur fabrication requiert l'utilisation de technologies de pointe. Parmi de nombreuses méthodes de synthèse couramment utilisées, les technologies de dépôt en phase gazeuse, et plus particulièrement les technologies plasma, sont particulièrement avantageuses car elles permettent notamment un

contrôle élevé des propriétés physico-chimiques des revêtements déposés (densité, rugosité, cristallinité, composition chimique, etc.). De plus, la technologie plasma reste dans le groupe de tête des technologies les plus respectueuses de l'environnement (dépourvues de solvant).

Le plasma est souvent reconnu comme étant le quatrième état de la matière [1,2]. Lorsque suffisamment d'énergie est apportée à un gaz, celui-ci peut se transformer (s'ioniser) pour former un plasma. Celui-ci contient alors de nombreuses espèces (particules) : ions, électrons, photons, etc.

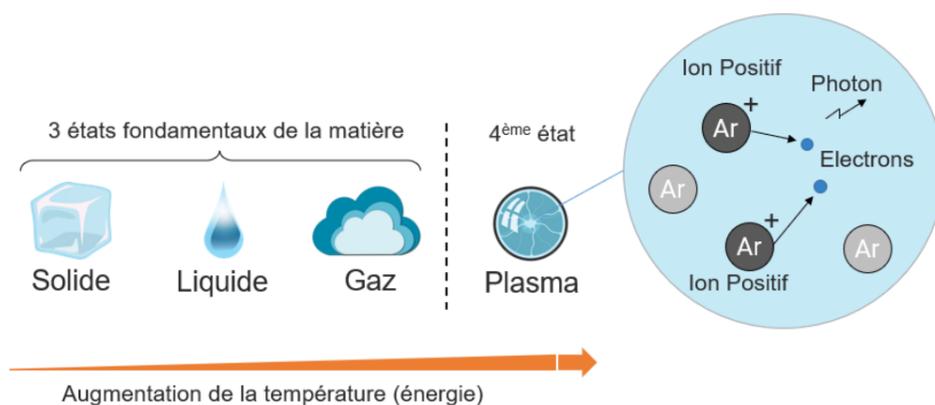
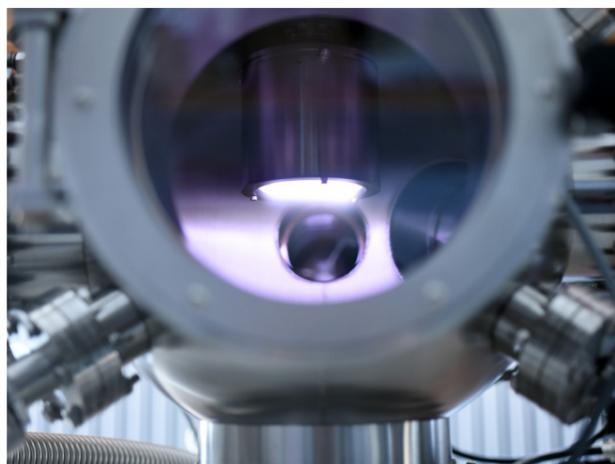


Figure 1: Illustration de la formation d'un plasma (ionisation d'un gaz noble, Ar).

Il est généralement admis que plus de 99% de la matière visible de l'univers existe à l'état de plasma : les étoiles et les aurores boréales sont des exemples de plasmas naturels évidents. Or, un plasma est rarement produit naturellement sur la surface de la Terre (les éclairs et les flammes en sont de rares exemples). Cependant, certains types de plasmas peuvent être générés artificiellement par l'excitation électrique d'un gaz, en laboratoire ou dans l'industrie, pour offrir une diversité remarquable d'applications : traitement des surfaces, assainissement de l'environnement, nouvelles applications en biotechnologie et médecine et bien d'autres.

Figure 2 : Exemple de plasma généré dans notre enceinte sous vide à l'aide d'une cible de titane dans une atmosphère d'argon pur.



Dans ce contexte, le projet Plasmagen (2021-2023), au travers de l'action FRHE, consistait à étudier et développer un prototype de générateur électrique plasma intégrant un système innovant de management d'arcs permettant d'améliorer la qualité des couches minces déposées par pulvérisation cathodique magnétron [3,4].

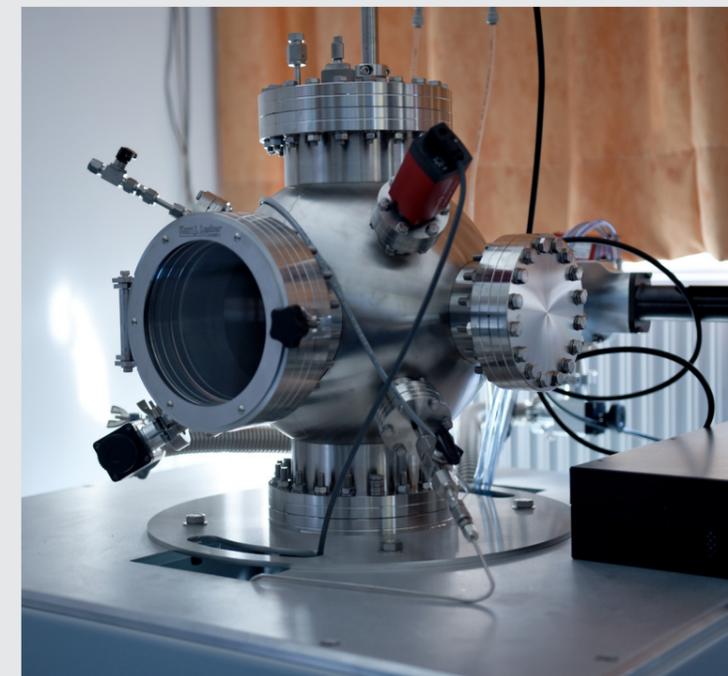
Ce suppresseur d'arcs est intégré dans un système de conversion électrique (module hacheur) générant des impulsions électriques de haute puissance sur une charge plasma. Il est important de noter que les temps de détection d'arcs ET d'action actuellement implémentés dans les générateurs plasma industriels sont de l'ordre de 3 à 20  $\mu$ s.

Les principaux résultats du projet Plasmagen qui ont pu être acquis sont :

- Un temps de détection et de suppression de l'arc inférieur à 3  $\mu$ s.
- Une puissance nominale du module hacheur de 500W.
- Une évaluation en laboratoire des paramètres électriques ainsi que des essais d'endurance.
- Un design de boîtier électronique prototype contenant les différents circuits de génération d'impulsions haute puissance (typiquement 1kV, 100A, 500W).
- Un niveau de maturité de la technologie évalué à TRL4.
- Une collaboration scientifique internationale et la rédaction d'un article scientifique dans la revue « Les techniques de l'ingénieur ».

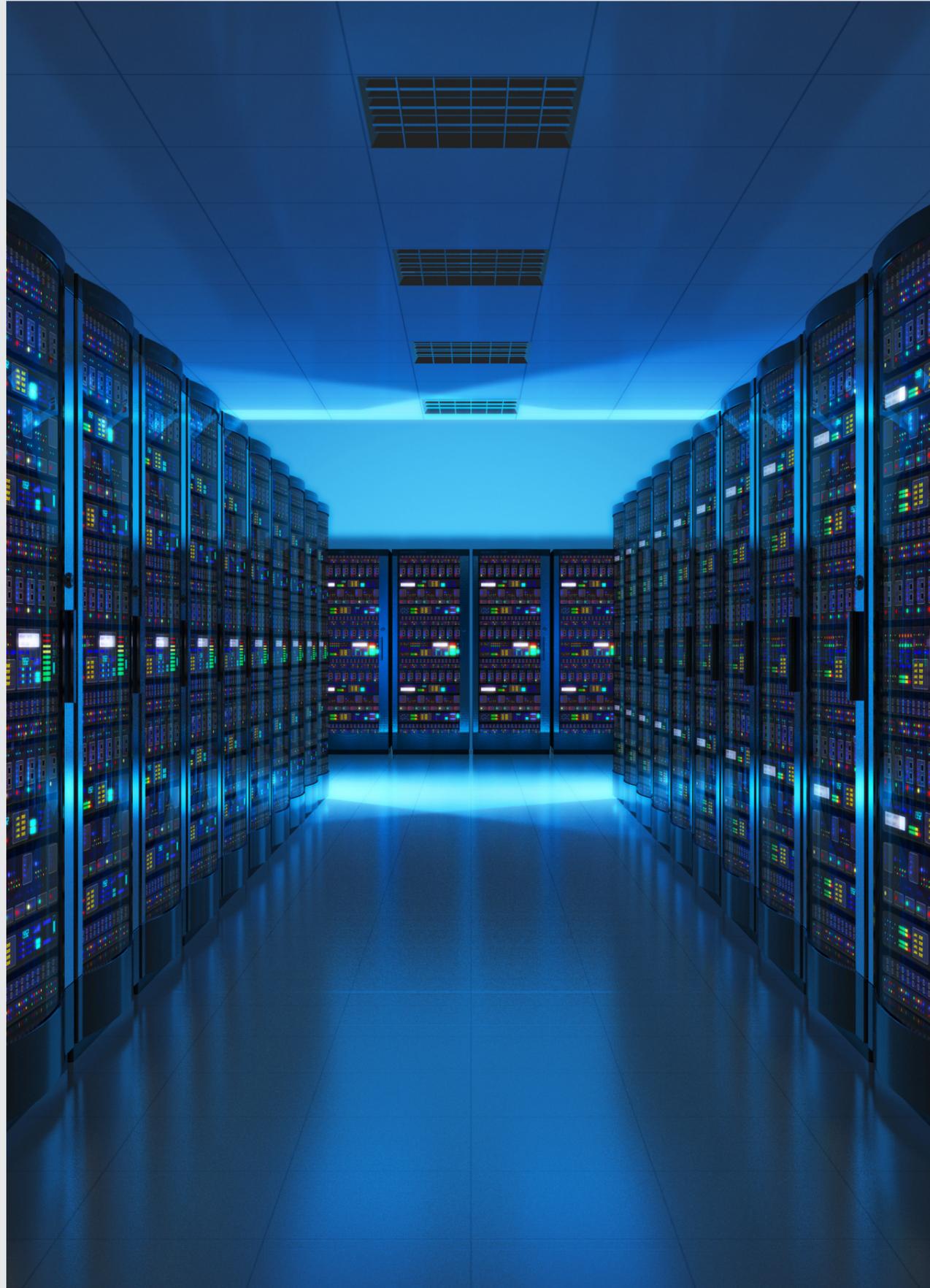
Avec ce projet, l'équipe de recherche du laboratoire d'électronique de puissance de la HEH.be ambitionne d'acquies une notoriété dans le domaine de la recherche appliquée en électronique de puissance pour la génération de plasma et ainsi participer à des projets de plus grande envergure.

**Matthieu MICHIELS**



## BIBLIOGRAPHIE

- [1] I. Langmuir, Proc. Natl. Acad. Sci., 14 (8), 627 (1928)
- [2] S. Eliezer and Y. Eliezer, "The Fourth State of Matter", Institute of Physics, 2nd updated edition (2001).
- [3] M. Michiels et al., La pulvérisation cathodique magnétron en régime d'impulsions de haute puissance (HiPIMS), Techniques de l'ingénieur, oct. 2013, IN207
- [4] M. Michiels et al., Pulvérisation magnétron à impulsions bipolaires de haute puissance, Techniques de l'ingénieur, sept. 2023, IN251



Informatique

# 03

## Le datacenter HEH

Cloud computing, Intelligence Artificielle, Big Data, cybersécurité, simulation scientifique, etc. Pour être travaillées correctement, toutes ces thématiques requièrent des infrastructures informatiques conséquentes qui dépassent largement le cadre d'un unique ordinateur, aussi performant soit-il. C'est pour cette raison qu'un datacenter a été créé au Département des Sciences et technologies de la HEH.



*Projet financé par la HEH, WBE, dons, etc.*

# Présentation du projet

La création de ce datacenter a été principalement initiée par les projets de recherches JAGANG et RWCS qui sont focalisés sur la cybersécurité et les problématiques Big Data. De nombreuses machines ont été nécessaires pour mener à bien ces projets d'où l'idée des les rassembler toutes dans un datacenter. Certaines machines utilisées lors de précédents projets de recherche ont également été intégrées au datacenter. Une bonne partie du datacenter est également constituée de matériel de récupération gracieusement offert par de généreux partenaires du Département des Sciences et technologies. De cette façon et en dehors de l'aménagement du local, ce datacenter n'aura nullement impacté le budget de la HEH.

La réalisation de ce projet de datacenter a débuté en 2022. Il est actuellement encore en cours de finalisation mais il est déjà partiellement opérationnel et est utilisé depuis le début de l'année 2023. Il devrait être complètement terminé pour la fin 2024.

La création de ce datacenter coïncide également avec la création d'une nouvelle option pour la formation pour les étudiants en science de l'ingénieur industriel orientation informatique : l'**option Intelligence artificielle et Big Data**. Ces disciplines sont très gourmandes en ressources informatiques et pouvoir disposer d'une installation conséquente permet aux étudiants de se former sur des technologies véritablement utilisées en industrie tout en les confrontant à des problématiques réelles.

D'un point de vue fonctionnel et en dehors des armoires, switches, onduleurs et autre firewall, ce datacenter est constitué de :

- 2 serveurs de virtualisation à haute performance,
- 2 serveurs de virtualisation dédiés au calculs scientifiques,
- 2 serveurs de calcul hautes performances secondés par 6 serveurs de calcul secondaires,
- 18 serveurs de base de données pour les problématiques Big Data,
- 16 serveurs polyvalents,
- 2 NAS hautes performances,
- et 26 nano ordinateurs dédiés à l'Internet of Things (IoT).

Au total, la version actuelle du datacenter comptabilise 558 cœurs processeur, 80.160 unités de calcul graphiques, presque 4 To de mémoire RAM et 332 To de stockage.

Disposer de nombreux matériel est une bonne chose mais éviter de gaspiller inutilement des ressources est encore plus important. C'est avec cette optique que les problématiques de développement durable ont été au cœur des choix technologiques opérés pour ce datacenter.

Une des premières démarches durables a été de prioris-

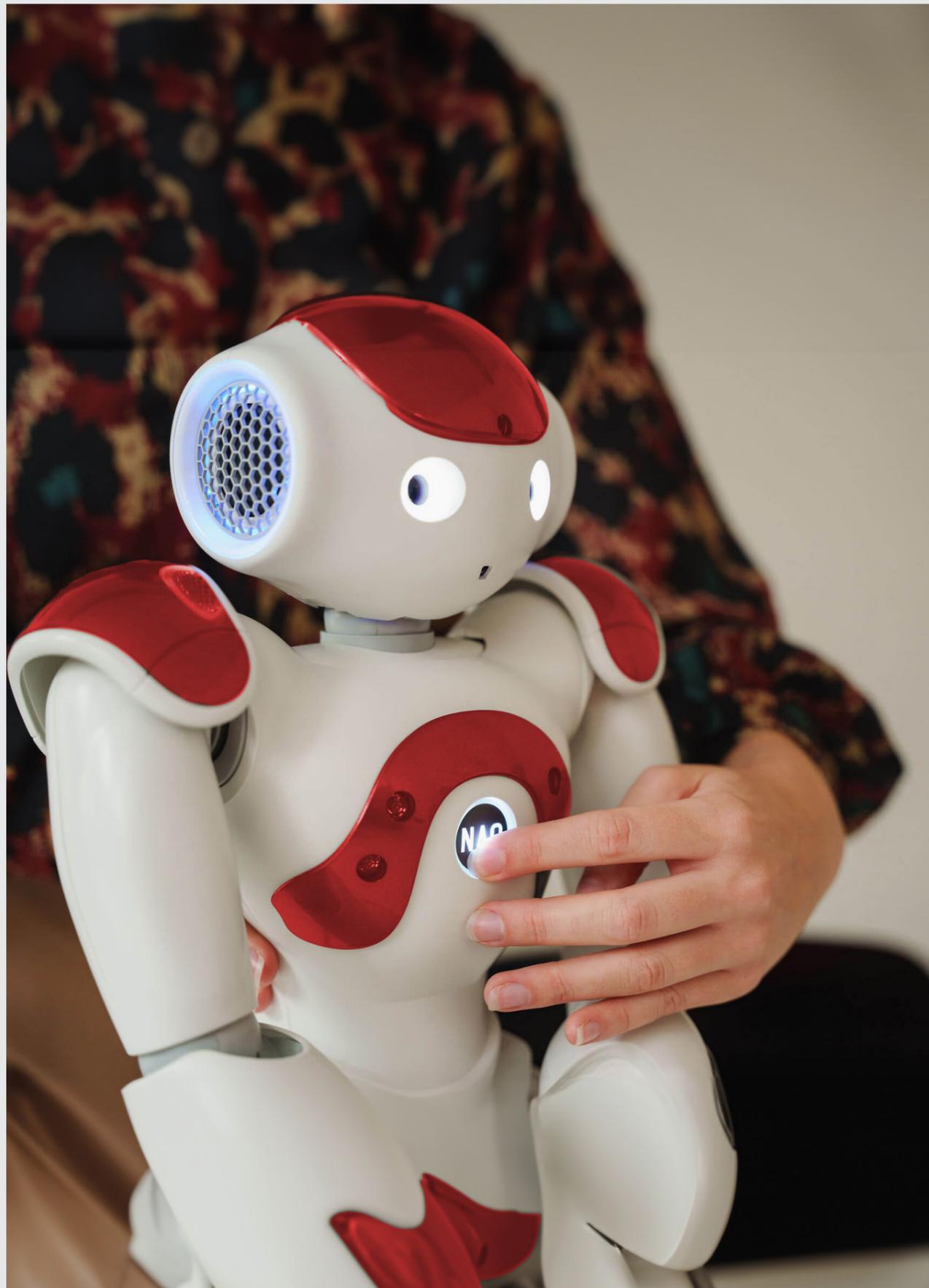
er, quand cela était possible, l'utilisation de matériel reconditionné plutôt que du matériel neuf. Pour les serveurs neufs, il a été décidé de les fabriquer en interne plutôt que d'acheter du matériel déjà tout assemblé. L'avantage est que les composants utilisés sont des composants standards et donc aisément remplaçables en cas de panne, ce qui est rarement le cas avec le matériel professionnel tout assemblé. De plus, ce choix a permis de baisser les coûts unitaires.

Le rendement énergétique des différents composants sélectionnés a également été un critère important. Par exemple, les alimentations utilisées pour de nombreux serveurs sont des alimentations avec un rendement énergétique proche des 90%. Comme l'efficacité énergétique du matériel électronique se dégrade à mesure que les composants s'échauffent, les différents systèmes de refroidissement ont été sélectionnés et calibrés avec soin. Un autre aspect souvent méconnu est que les réglages par défaut de certains composants sont loin d'être optimaux. Par exemple, la tension électrique appliquée aux processeurs de nos machines (que ce soit un PC portable ou un serveur haute performance) est souvent un peu trop élevée. La consommation électrique de ces composants étant fonction du carré de la tension, même un léger abaissement de la tension a pour effet de diminuer significativement la consommation électrique et l'échauffement. Dans certains cas, cette baisse de tension permet même d'améliorer les performances. Ce réglage a été appliqué aux différents processeurs installés dans les serveurs tout comme une limite de consommation électrique a été instaurée sur certains composants. Ces réglages ont permis de réduire la consommation électrique d'une centaine de Watts par machine sans nuire aux performances réelles. De plus, le matériel pouvant être coupé et rallumé à distance, la grande majorité des différents serveurs n'est alimentée que quand cela est nécessaire.

En conclusion, ce datacenter permet d'offrir une plateforme pour de futurs projets de recherche, d'améliorer les connaissances des enseignants concernés, de proposer des formations au plus proche de la réalité du monde industriel et le tout en consommant un minimum d'énergie. Disposer de ce datacenter est un vrai plus pour la formation de nos futurs ingénieurs en informatique et permet de propulser la HEH sur le devant dans la scène pour tout ce qui est formation aux nouvelles technologies de l'information.

**Jean-Sébastien LERAT**  
**Samuel CREMER**  
**Guillaume DIEU**





Informatique

Pédagogie

# 04

## Projet NAO Facilitateur d'apprentissage chez les enfants

Dans le cadre de notre projet de recherche en collaboration avec Service d'ingénierie pédagogique et numérique éducatif de l'Université de Mons, nous avons pu mettre en place des ateliers dans des classes de maternelles. Les activités proposées ont pour objectif d'aborder la compréhension des informations inférentielles à travers les lectures à haute voix d'histoires de la littérature jeunesse enrichies de questionnements autour de ces dernières. Pendant ces différents ateliers, nous avons comptabilisé la fréquence d'utilisation des Naomark par les élèves. Cette recherche ajoute au vaste champ d'applications du robot humanoïde la possibilité d'étayer la tâche des élèves dans un atelier, afin de les rendre indépendants ans la gestion de leur travail. Sans jamais se fatiguer et avec une patience infinie, le robot Nao a répété autant de fois que nécessaire les consignes ainsi que la lecture de l'histoire. Chaque enfant peut alors comprendre à son rythme et poser autant de questions qu'il le souhaite.



*Projet financé par les fonds propres de la HEH.be.*

# NAO, un nouvel outil d'aide à la gestion de classe ?

APPRENTISSAGE. Plusieurs études ont montré que ces robots sont de potentiels outils éducatifs, en particulier auprès d'élèves rencontrant des difficultés d'apprentissage. Parmi les robots, il existe les robots humanoïdes qui peuvent induire une expérience différente de l'apprentissage, passant d'un objet à manipuler à l'émergence de situations sociales et d'interactions à valence psychoaffective.

Dans le cadre de nos réflexions sur l'intégration scolaire du numérique, nous avons choisi d'introduire le robot humanoïde Nao dans plusieurs classes de l'enseignement maternel, afin de proposer une utilisation pédagogique peu courante de celui-ci.

S'il peut être un outil d'apprentissage pour la programmation, nous l'avons expérimenté plutôt comme un outil d'aide à la gestion de la classe.

## NAO, responsable d'un atelier

En classe maternelle, la gestion de la classe n'est pas aisée, dans la mesure où faire travailler les apprenants de manière autonome reste difficile. L'enseignant doit alors mettre en place une organisation spécifique tel que le travail en groupe, afin de faciliter son intervention pédagogique et de développer l'autonomie de ses élèves. Pendant le travail en groupe d'ateliers, l'enseignant prend en charge un atelier pendant que les autres fonctionnent en autogestion. Pourtant, l'élève reste très dépendant. L'instituteur peut être interpellé pour de nombreuses tâches que des enfants de cet âge ne sont pas capables de réaliser seuls : lire la consigne, organiser et superviser la répartition de la tâche à réaliser, encourager, fournir des rétroactions, etc. Pour faire face à ces sollicitations dans une classe préscolaire, nous émettons l'hypothèse que le robot humanoïde Nao puisse apporter un support en cours d'apprentissage.



L'intégration du robot s'est réalisée dans trois classes maternelles en Belgique francophone. Quarante-six élèves de 3 à 5 ans ont réalisé les différentes activités prévues dans notre scénario pédagogique.

Les activités proposées ont pour objectif d'aborder la compréhension des informations inférentielles à travers les lectures à haute voix d'histoires de la littérature jeunesse enrichies de questionnements autour de ces dernières. Ce travail se réalise en ateliers. Dans ce contexte, Nao est responsable de l'atelier « Comprenons les histoires ».

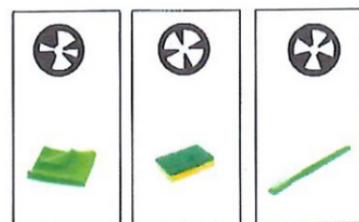
Les élèves groupés par trois ou quatre se succèdent dans les différents ateliers prévus par l'enseignant.

Arrivés à l'atelier « Comprenons les histoires », plusieurs Naomark sont à la disposition des élèves afin de réaliser l'activité proposée et de pouvoir interagir avec le robot Nao.

Ces Naomark peuvent prendre en charge différentes catégories d'interactions à l'aide d'images qui les symbolisent pour une facilité d'utilisation. Avant de travailler en autonomie avec Nao.

Les élèves disposent des différents Naomark classés dans des pochettes afin de donner une structure à l'atelier. Une pochette « Début de l'activité » (lecture, objectifs, consignes), une pochette avec les questions sur l'histoire entendue, et une pochette « J'ai besoin d'aide » (procédures, organisation, feedback).

Chaque atelier propose dix questions différentes de difficulté progressive : cinq questions explicites et cinq questions implicites. Les élèves ont participé à trois ateliers « Comprenons l'histoire » (avec trois livres différents) sur une période de trois semaines, à raison d'un atelier par semaine.



## Une sollicitation importante

Pendant ces différents ateliers, nous avons comptabilisé la fréquence d'utilisation des Naomark par les élèves. Nos résultats montrent une sollicitation importante mais disparate, en fonction des différentes catégories d'intervention prévues par le robot. Cette analyse descriptive des données recueillies nous permet de constater que certaines interventions de Nao sont plus fréquentes, comme la lecture du texte, l'énoncé de la question ou encore la vérification de la réponse. Ces trois catégories reviennent en moyenne plus d'une fois par groupe et par atelier.

Il semble cependant que Nao trouve sa plus grande utilité auprès des élèves lors des feedbacks de vérification, au vu des moyennes les plus élevées de cette catégorie.

## Quelle place pour NAO ?

Cette recherche ajoute au vaste champ d'applications du robot humanoïde la possibilité d'étayer la tâche des élèves dans un atelier, afin de les rendre indépendants dans la gestion de leur travail. Sans jamais se fatiguer et avec une patience infinie, le robot Nao a répété autant de fois que nécessaire les consignes ainsi que la lecture de l'histoire. Chaque enfant peut alors comprendre à son rythme et poser autant de questions qu'il le souhaite. La possibilité d'avoir un retour rapide sur leur réponse (feedback) rend l'apprentissage ludique, et tout cela sans intervention directe de l'enseignant. Notons toutefois une limite. Nao ne répond qu'aux différentes questions anticipées, or il est difficile pour l'enseignant de tout prévoir. Des questions d'élèves restent donc sans réponse.

Si son utilisation comme outil d'apprentissage auprès d'enfants présentant certains troubles d'apprentissage avec parfois des difficultés à communiquer<sup>1</sup> ou pour initier les élèves au domaine de la programmation<sup>2</sup> a déjà fait ses preuves, notre expérimentation tend à montrer qu'un robot peut constituer un auxiliaire précieux pour l'enseignant pour encadrer l'apprentissage réalisé en autonomie.

**Audrey KUMPS, Céline BORDART,  
Gaëtan TERMPERMAN et Bruno DE LIÈVRE**  
Service d'ingénierie pédagogique et numérique éducatif. Université de Mons

**Erwin DESMET et Antoine MALAISE**  
Maîtres assistants, Haute école en Hainaut

<b>CONSIGNES</b>	Nao donne la consigne	« Vous me demandez de vous expliquer ce qu'il faut faire. Écoutez attentivement le texte que je vais vous raconter et répondez aux questions en choisissant l'image qui correspond à votre réponse »
<b>LECTURE</b>	Nao lit l'histoire	Lecture du livre page après page
<b>OBJECTIFS</b>	Nao donne les objectifs	« Vous me demandez à quoi servent les activités. Vous allez apprendre à comprendre en groupes un texte que vous allez écouter et, à retrouver des Informations contenues dans ce texte »
<b>QUESTIONS</b>	Nao pose les questions de compréhension littérale et inférentielle	« Maintenant que vous avez écouté l'histoire, essayez de répondre aux questions que je vais vous poser. Voici la première question : ... »
<b>PROCÉDURES</b>	Nao rappelle la procédure pour valider la réponse	« Vous me demandez de vous expliquer comment vous devez valider votre réponse. Prenez l'image qui correspond à la réponse et mettez-la devant mes yeux. Je dirai si vous avez trouvé la bonne réponse ou si vous devez continuer à discuter ensemble pour en choisir une autre. »
<b>ORGANISATION</b>	Nao rappelle le temps restant avant de passer à un autre atelier	« Vous me demandez le temps qu'il vous reste pour finir votre activité. Il vous reste ... minutes »
<b>FEEDBACK</b>	Nao donne un feedback spécifique - valide ou non la réponse	« Vous venez de me montrer une réponse. Bravo, vous avez trouvé la bonne réponse. (Réponse à la question). Vous pouvez passer à la question suivante. Malheureusement, la réponse n'est pas correcte. Je vous propose d'en discuter entre vous pour en choisir une autre. Vous pouvez aussi réécouter l'histoire »

Tableau 1 : les différentes catégories de Naomark

Intervention de NAO	ATELIER 1		ATELIER 2		ATELIER 3	
	Fréquence d'apparition	Moyenne par groupe	Fréquence d'apparition	Moyenne par groupe	Fréquence d'apparition	Moyenne par groupe
Lecture	15,00	1,36	13,00	1,18	16,00	1,45
Donne les objectifs	1,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Donne la consigne	11,00	1,00	9,00	0,82	8,00	0,72
Organisation	4,00	0,36	4,00	0,36	2,00	0,18
Procédures	11,00	1,00	8,00	0,73	6,00	0,54
	Fréquence d'apparition	Moyenne par groupe et par question	Fréquence d'apparition	Moyenne par groupe et par question	Fréquence d'apparition	Moyenne par groupe et par question
Feedback pour chaque question	162,00	1,47	166,00	1,51	164,00	1,49
Enoncé d'une question	127,00	1,15	134,00	1,22	122,00	1,11

Tableau 2 : Fréquences et moyenne des interventions de NAO



## BIBLIOGRAPHIE

<sup>i</sup> Voir Thierry Karsenti, Julien Bugmann, Emmanuelle Frenette, « Un robot humanoïde pour aider les élèves ayant un trouble du spectre de l'autisme ? », *Vivre le primaire*, p. 34-37, 2017.

<sup>ii</sup> Voir Margarida Romero, Laurent Glauffret, Vassilis Komis, « Résoudre des problèmes d'interdépendance par la robotique », *Cahiers pédagogiques* n° 558, p. 62-63, 2020.

**Didactique**

# 05

## Avoma Des jeux sur tablette numérique pour apprendre le vocabulaire en 3<sup>ème</sup> maternelle ?

L'objectif du projet AVOMA a été de concevoir une application pour tablette tactile comportant des jeux et activités de vocabulaire adaptés à des élèves de 3<sup>ème</sup> maternelle. Cette recherche s'est en particulier intéressée à la problématique des enfants, principalement issus de milieux défavorisés, qui entrent à l'école primaire avec un bagage lexical trop limité.

La question de recherche était donc la suivante : des élèves de 3<sup>ème</sup> maternelle fréquentant une école à encadrement différencié peuvent-ils enrichir leur vocabulaire grâce à des jeux sérieux sur application numérique ?

Cinq jeux ont pu être créés et testés auprès de quelque 26 élèves, pour mener à bien l'apprentissage de 2 séries de 8 mots. Les scores obtenus lors des tests connaissance oscillent entre 64 et 70,8 % de bonnes réponses. Ils ont révélé d'importants écarts de performances entre élèves et montré que certains mots sont nettement plus difficiles à apprendre que d'autres.



*Projet financé par le Financement de la recherche en Hautes Ecoles (FRHE).*

# Présentation du projet

## Objectif et raison d'être du projet

Le projet Avoma s'est donné pour ambition de mettre au point et de tester une application pour tablette tactile, qui comporterait des jeux de vocabulaire efficaces destinés à des enfants de 3ème maternelle. Les chercheurs ont estimé que le support tablette peut être utile, puisqu'il permet à l'apprenant de travailler seul et en autonomie, possibilité qui peut s'avérer précieuse pour des élèves au bagage lexical insuffisant et qui ont besoin d'enrichir substantiellement leur vocabulaire.

## Création de jeux

Le projet a d'abord consisté à créer des jeux qui respectent un équilibre entre leurs aspects ludique et pédagogique, de manière à ce que les élèves ne soient pas détournés de l'objectif d'apprentissage. Ces jeux ont également été conçus sur base de données scientifiques provenant de recherches sur l'enseignement et l'apprentissage du lexique. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés principalement sur les ouvrages de Cèbe et Goigoux, de Cellier et de Daviault.

À l'aide d'un informaticien qui a pu être engagé grâce au financement FRHE, cinq jeux ont été mis au point. Le premier fait découvrir aux joueurs les définitions des mots à apprendre, le deuxième est une adaptation du jeu traditionnel de mémoire, le troisième consiste à faire progresser une histoire, le quatrième est un jeu de puzzle qui fait entendre un texte poétique et le cinquième exige du joueur qu'il détermine si les mots à apprendre sont correctement employés dans des phrases décrivant des images.

## Méthodologie et protocole

Les expérimentations ont été menées auprès de 26 élèves d'une école à encadrement différencié du Hainaut occidental. Dans un premier temps, les participants ont passé deux courtes épreuves. L'une a évalué leurs connaissances générales en vocabulaire, tandis que l'autre a vérifié s'ils connaissaient déjà ou non le sens des mots à apprendre qui avaient été sélectionnés et répartis en 2 séries distinctes. Ces mots appartenaient au thème de la lumière, de manière à ce qu'ils soient unis par des liens sémantiques.

Le travail sur la première série de mots s'est effectué pendant 3 semaines. Lors des 2 premières semaines, les élèves ont bénéficié de 4 séances de jeu (2 par semaine), chaque séance durant au maximum 15 minutes, de manière à ce que les enfants ne passent pas trop de temps devant l'écran. A la fin de chaque semaine leur a été soumis un test de connaissance du vocabulaire cible, qui a consisté à désigner, parmi 8 illustrations, l'image qui correspondait au mot prononcé par le chercheur.

Pour la seconde série de mots, les élèves ont joué à 4 jeux à l'occasion de 2 séances étalées sur une semaine, au terme de laquelle leur a été proposé le test de connaissances.

## Résultats

Tous tests confondus, les pourcentages de bonnes réponses oscillent entre 64 % et 70,8 % pour les mots apprenables (ne sont donc pas prises en compte ici les bonnes réponses pour les mots connus avant expérimentation). Les scores obtenus semblent montrer que les jeux créés et leur utilisation permettent un apprentissage relativement efficace, mais l'analyse révèle également de fortes disparités entre élèves. Par exemple, pour le test de la série 2, les 8 meilleurs élèves fournissent 100 % de bonnes réponses, alors que la moyenne des 8 élèves du bas de tableau ne dépasse pas les 48 %. Il s'avère que les résultats des enfants qui sont en difficulté dans de nombreux autres apprentissages, selon leurs institutrices, sont particulièrement mauvais. Par ailleurs certains mots, ceux au contenu sémantique plus complexe par exemple, semblent nettement plus difficiles à apprendre.

**Jean-Paul VANDENBERGHE**



## BIBLIOGRAPHIE

- Alvarez, J., Djaouti, D. et Rampoux, O. (2016). Apprendre avec les serious games ? Futuroscope Cedex : éditions Canopé.
- Cèbe, S. & Goigoux R. (2017). Narramus. Apprendre à comprendre et à raconter La sieste de Moussa. Paris : Retz.
- Cellier, M. (2017). Guide pour enseigner le vocabulaire à l'école maternelle. Paris : Retz.
- Daviault, D. (2011). L'émergence et le développement du langage chez l'enfant. Québec : Chenelière éducation.
- Galand, B. (2020). Le numérique va-t-il révolutionner l'éducation. Cahiers du Girsef, n° 120.
- Giasson, J. (2012). La lecture. Apprentissage et difficultés. Bruxelles : de boeck.
- Grossman, F. (2011). Didactique du lexique : état des lieux et nouvelles orientations. Pratiques, n° 149-150, p. 163-183. DOI : 10.4000/pratiques.1732
- Nonnon, E. (2014). La didactique du français et l'enseignement du vocabulaire, dans vingt ans de revues de didactique du français langue première. Repères, 46, 33-72.
- Rapport de l'OCDE 2015. Connectés pour apprendre ? Les élèves et les nouvelles technologies.
- Roubaud, M-N et Moussu, M-J (2012). Un enseignement structuré du lexique dès la maternelle au service de l'écriture. Pratiques (en Ligne), 155-156. DOI : 10.4000/pratiques.3484



Informatique

# 06

## Exploration algorithmique

Les "Hidden Markov Models" (HMMs) s'appliquent particulièrement dans le domaine de la bioinformatique, le plus souvent sous leur forme de "Profile-HMM" déduits d'alignements multiples de séquences biologiques. Théoriquement les HMMs pourraient générer les alignements eux-mêmes plutôt que de les exploiter, mais cette approche n'a pas été décrite, si ce n'est partiellement dans la première phase du programme d'alignement multiple "Muscle".

Nous nous proposons d'investiguer de manière exploratoire les difficultés soulevées par cette technique pour produire les alignements eux-mêmes.



*Projet financé par les fonds propres de la HEH.be.*

# Présentation du projet

Les profile-HMMs sont adaptés aux questions des biologistes pour créer des prédicateurs de catégorisation d'entités biologiques par exemple. Plusieurs difficultés sont à considérer :

1. Premièrement la longueur des séquences biologiques qui implique rapidement une chute des probabilités calculées au delà des limites de précision du matériel informatique. Deux solutions sont habituellement utilisées pour y pallier, soit l'usage des logarithmes, et/ou l'usage d'une technique de remise à l'échelle après chaque étape de la séquence de génération.

La première est rapidement non satisfaisante, car elle nécessite une série de calculs supplémentaires couteux en temps informatique, qui sont le plus souvent approximés en choisissant une valeur proche dans une table précalculée. Il y a deux aspects contradictoires lors de la génération d'un HMM, d'une part au début les probabilités se doivent d'être nécessairement de même ordre pour permettre au système de "tendre" progressivement, itérativement vers le "modèle" qui en fin de parcours sera constitué de probabilité très tranchées pour la plupart.

La manipulation de logarithme de probabilité tantôt proches, tantôt éloignées pose problème. La technique de mise à l'échelle est elle bien plus intellectuellement satisfaisante.

Elle est abondamment décrite avec des exemples simples et révélant l'élégance intellectuelle de la démarche, mais malheureusement elle n'a jamais été transposée dans le cadre d'un profile-HMM.

2. Une seconde difficulté rencontrée est le coté subjectif décidé a priori du nombre de modules, éléments constitutifs du modèle, (un profile HMM est une chaîne de modules, ou chaque module présente trois états générateurs, I, M et D), empiriquement fixé à 125% de la plus longue des séquences alignées (ou à aligner). Cette contrainte est raisonnable pour limiter la complexité et le temps de calcul, mais s'avère très éloignée de la valeur théorique, qui pour être exhaustive se devrait d'être la somme des longueurs de chacune des séquences.

Nous sommes dans un premier temps parvenu à transposer la technique de mise à l'échelle aux profile HMMs.

Le problème de décroissance rapide des probabilités dans un HMM est dramatiquement accentué dans un profile-HMM par ce qu'on appelle les I-Runs et de manière légèrement moindre par les D-runs.

Pour que la mise à l'échelle puisse fonctionner il faut pouvoir trouver des "étapes" dont le franchissement sert de base à la mise à l'échelle, et, et c'est là la difficulté, que les probabilités calculées au sein de ces étapes soient homogènes lors des premières phases itératives. Globalement aucunes des étapes aisément identifiables ne remplit ce

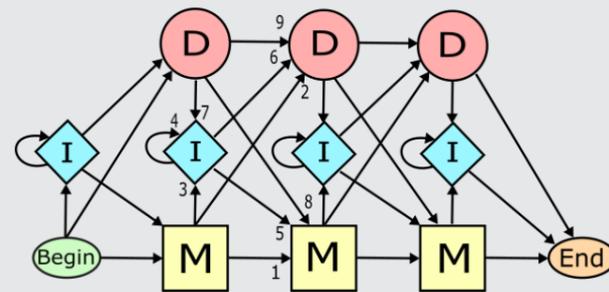
critère. Nous sommes parvenus cependant à identifier une série d'étapes hybride permettant une mise à l'échelle efficace. De très nombreux calculs souvent longs à réaliser ont été nécessaires pour "simplement" vérifier que la technique en développement n'introduisait pas d'erreurs. Bien que prometteuse, la technique que nous analysons ne fait que postposer le problème.

La décroissance non-homogène des probabilités se manifeste toujours, bien que plus tardivement, mais elle est liée cette fois non pas à la longueur des séquences, mais bien à la différence intrinsèque des états D par rapport aux états I.

Nous explorons actuellement une piste pour rééquilibrer cette différence, et ainsi régler tous les problèmes identifiés.

Dans un deuxième angle d'attaque du problème nous avons développé une technique de quantification des probabilités initiales des modèles HMM. En règle générale l'ensemble des paramètres d'un HMM est d'ordinaire initialisé aléatoirement et on "espère" que par affinements itératifs, le modèle évoluera/tendra vers quelque-chose de sensiblement adéquat et significatif.

Nous sommes en cours de rationalisation de ces valeurs de probabilités initiales, pour nous affranchir de ce coté initialisation aléatoire (ce qui devrait diminuer le temps de calcul nécessaire à l'amélioration du modèle).



David COORNAERT



## BIBLIOGRAPHIE

—  
Curr Genomics. 2009  
Sep;10(6):402-15. doi:  
10.2174/138920209789177575.  
Hidden Markov Models and  
their Applications in Biological  
Sequence Analysis  
Byung-Jun Yoon

**HEH.be** - Haute École en Hainaut

4, rue Pierre-Joseph Duménil  
7000 Mons  
Belgique

+32 (0) 65 34 79 83  
info@heh.be  
www.heh.be

