



## Dossier

## Le vol électrique



**Sachez  
activer la  
fonction banque  
à chaque  
moment clé  
de votre vie.**



Construisons dans un monde qui bouge.

## ÉDITORIAL

| 2

par Emmanuel Duflos

## LE VOL ÉLECTRIQUE

| 3

Les enjeux du vol électrique : le point de vue de Safran	3
Le concept Ampère d'avion électrique à propulsion distribuée	5
Volta, l'hélicoptère électrique	7
La Croisière jaune par la voie des airs...	9

## LA SAGA DES SCIENCES

| 11

La pollution atmosphérique extérieure

## TECHNIQUE

| 14

La salle à manger de Néron à Rome

## GROUPE CENTRALE INFO

| 18

## CARRIÈRE

| 20

Enquête nationale IESF 2017 sur les ingénieurs	20
Les Centraliens de Lille, « entrepreneurs à suivre » d'après le MIT	22
Succès et poursuite pour le mentorat de Centrale Lille Alumni	24

## L'ÉCOLE

| 25

L'École au quotidien	25
Mieux connaître l'École	27

## L'ASSOCIATION

| 30

La vie des groupes	30
Divers...	32



ISSN 0399.8304  
Revue bimestrielle,  
éditée par l'association des Centraliens de Lille  
566, av. de la République - CS 60012  
59043 LILLE CEDEX  
Tél. 03 20 51 57 56  
[contact@centraliens-lille.org](mailto:contact@centraliens-lille.org)  
[www.centraliens-lille.org](http://www.centraliens-lille.org)

Directeur de la publication : Roland Marcoin  
Rédacteur en chef : Roland Marcoin  
Commission : Éric Devaux, Hervé Dutheil,  
Jocelyne Mongy, Angélique Harant  
Secrétaire de la rédaction : Laure Denis  
Tél. 03 20 51 06 66  
[laure.denis@centraliens-lille.org](mailto:laure.denis@centraliens-lille.org)

Dépôt légal : 3<sup>ème</sup> trimestre 2017  
Commission paritaire 0113 G 83185

**Publicité :**  
SEE - 1, voie Félix Éboué  
94000 CRÉTEIL - Tél. 01 49 77 67 80

**Mise en page :**  
Francegraphic - 04 77 23 70 80

**Impression :**  
Imprimerie Chirat - 42540 Saint-Just-la-Pendue  
Tél. 04 77 63 25 44

ABONNEMENT 2017 (cinq numéros) :  
Adhérents : 35 € - Non adhérents : 50 €

Les articles et informations publiés dans L'ingénieur  
le sont sous la responsabilité exclusive de leurs auteurs.

Ce numéro a été tiré à 750 exemplaires  
et remis à La Poste le 20 octobre 2017.



## • Envoyez-nous vos articles !

L'ingénieur est votre revue. Vous avez une expertise, un parcours ou un savoir à partager : contactez-nous si vous souhaitez écrire un article !

Les fichiers, si possible au format électronique (word), sont à transmettre à [laure.denis@centraliens-lille.org](mailto:laure.denis@centraliens-lille.org). Une page de la revue correspond à 4 500 caractères, espaces compris, avec deux illustrations maximum (fichiers à joindre séparément). Nous donner le titre de l'article, aussi court et précis que possible, ainsi que les titres des paragraphes. Nous envoyer votre photo et un mini CV de 50 mots. Tout article est soumis à la relecture de la commission de rédaction.

• Vous avez un parcours atypique ?  
Vous avez créé une entreprise ?  
Partagez votre expérience avec les centraliens.

• Une nomination, une mobilité ?  
Vous voulez le faire savoir ? Contactez [laure.denis@centraliens-lille.org](mailto:laure.denis@centraliens-lille.org) !

Pensez aussi à mettre à jour vos coordonnées personnelles et professionnelles.

## Repères

Le 11 octobre 2017 l'Association comptait 1 922 membres (dont 568 membres juniors) à jour de cotisation. À la même date, *L'ingénieur* comptait 1 141 abonnés à la revue.

# À l'aube de nouveaux paradigmes



**T**RANSITION ÉNERGÉTIQUE, transition numérique, industrie 4.0... les expressions ne manquent pas pour exprimer à quel point nous vivons une époque charnière dont l'avenir ne se satisfera pas de simples évolutions fondées sur des paradigmes immuables. L'avenir a besoin d'innovations de ruptures seules aptes à répondre à la complexité des enjeux. L'enseignement supérieur, et donc les écoles d'ingénieurs, n'échappent pas à ce mouvement réformiste. Toutes nos représentations sont à repenser : de notre modèle de formation à notre place au sein de l'enseignement supérieur et de la recherche (ESR) en passant par la refonte de nos modèles économiques. Bien au-delà des actions, ce sont les paradigmes mêmes qui doivent changer.

Les élèves qui intègrent nos écoles sont d'une génération qui, beaucoup plus que les précédentes, a besoin de sens. Nourrie dès le plus jeune âge par la culture numérique, cette génération ne considère plus nos établissements comme le lieu du savoir unique. Elle attend de nous un accompagnement vers le savoir-faire et le savoir-être, remettant en cause significativement le rôle de l'enseignant qui ne doit plus se poser la question de savoir comment il enseigne mais comment l'élève se forme et comment, lui-même, se positionne dans ce nouveau cadre. La transition numérique a pour conséquence que la plupart des métiers qu'exerceront nos ingénieurs dans cinq à dix ans n'existent pas encore. Comment dès lors les former ?

Ces bouleversements touchent également nos institutions. La place de la France dans le concert mondial de l'ESR conduit à une remise en cause sans précédent de l'organisation fractionnée entre les universités, les grandes écoles et les organismes de recherche. Comment, dès lors, définir un nouveau paradigme de structuration de ces établissements, aux cultures et modes de fonctionnement si différents, qui pérennise la valeur de chacun, tout en apportant une valeur globale supérieure ? Voilà une réflexion qui anime bien des sites universitaires depuis de nombreux mois !

Dernier paradigme majeur remis en cause : les modèles économiques. Le désengagement de l'État au regard de l'ampleur des investissements nécessaires ou encore la succession de réformes comme celle annoncée de la taxe d'apprentissage qui conduit irrémédiablement à la disparition de recettes majeures, nous amènent à envisager des modèles économiques fondamentalement différents. Ces derniers s'appuient sur la définition d'offres de services globales issues d'une stratégie désormais globale. Plus qu'une évolution, c'est une révolution qui nous conduit à intégrer les notions de valeur et de rentabilité.

Centrale Lille est engagée sur tous ces fronts. La rentrée 2017 a vu la mise en place des tout nouveaux cursus pour l'École Centrale de Lille et l'IG2I. Une réflexion débute pour l'ITEEM. Validé en mars 2017 par un jury international, le projet I-SITE ULNE nous engage à une réflexion complexe de structuration du site lillois pour qu'il se classe parmi les 150 premiers au classement de Shanghai. Enfin, Centrale Lille fait évoluer son modèle économique pour le rendre à moyen terme moins dépendant des financements attribués par l'État. Cela passe, entre autre, par la définition et la mise en place d'une offre de services à destination du monde socio-économique. La réflexion menant à cette offre de services intègre désormais les notions de coût, de valeur produite et de valeur financière associée.

Sans être exhaustifs, ces nouveaux paradigmes sont vitaux pour nos établissements si nous voulons pérenniser ce en quoi nous croyons et qui est ancré en nous depuis 163 ans : former par la science et la technologie les jeunes générations pour qu'elles réussissent leur vie tout en contribuant au bien-être des sociétés et à la vitalité des entreprises.

**Emmanuel Duflos** ■

*Directeur de l'École Centrale de Lille*



## LE VOL ÉLECTRIQUE



**L** N'Y A NI CENTRALE ÉLECTRIQUE, ni fil dans le ciel, juste les traînées de condensation que laissent derrière eux les avions de ligne certains jours. Ces figures géométriques, qui s'entrecroisent vues du sol, sont le résultat combiné de la combustion des moteurs thermiques et des tourbillons marginaux de voilure qui mettent en rotation les gouttelettes d'eau sortant des réacteurs et qui se transforment en cristaux de glace

derrière l'avion à haute altitude, pour donner ces panaches blancs si caractéristiques du vol de l'ère du pétrole.

Si on souhaite voir un jour disparaître ces panaches du ciel, il faudra rendre les avions capables de voler à l'énergie électrique. Vu l'état actuel des technologies embarquées, où la densité massique de stockage de l'énergie dans une batterie est bien moindre que celle du kérosène, il sera probablement nécessaire de produire de l'électricité à bord, au-delà du cas des vols courts. Et cela soit par transformation de l'énergie solaire en électricité via des cellules photovoltaïques à l'extrados (il fait toujours beau là-haut), soit à partir d'un moteur thermique (propulsion hybride), soit à partir de piles à combustible  $H_2/O_2$ .

Les systèmes de stockage à bord de l'énergie nécessaire au vol constituent l'enjeu majeur du vol électrique. Ainsi, dans le cas où il s'agirait exclusivement de batteries, leur masse pose un réel problème en aéronautique. De plus la sécurité des vols impose un jaugeage précis de leur capacité restante ainsi qu'un contrôle rigoureux de leur température.

D'années en années, les systèmes de stockage à bord réalisent des progrès significatifs, en particulier grâce à l'automobile en ce qui concerne les batteries, mais ce n'est pas encore suffisant pour le transport aérien. Ainsi n'en sommes-nous encore qu'aux tout débuts de l'aviation électrique : la Manche a été franchie en 2015, le tour du monde par grandes étapes transocéaniques a été bouclé par *Solar Impulse 2* en 2016, ce qui constitue un exploit technologique et humain. Quelques prototypes d'aéronefs électriques volent, certains pourraient déboucher sur des versions écoles pour l'apprentissage initial à coût réduit, sur avion et sur hélicoptère.

Des ingénieurs et techniciens de tous âges y travaillent dans des laboratoires de l'innovation, mais nous sommes encore loin du premier avion de ligne... électrique !

**Jean-Marc Pinard (ECP82) ■**

Membre du bureau du groupement professionnel des Centraliens de l'Aéronautique et de l'Espace, coordinateur de ce dossier avec Céline Jacquot.

## LES ENJEUX DU VOL ÉLECTRIQUE : LE POINT DE VUE DE SAFRAN



**Pierre-Alain Lambert (ECP91), après une thèse sur l'optimisation de forme des nacelles de moteurs civils, s'est occupé à différents postes de la propulsion liquide du lanceur Ariane, depuis la modélisation fonctionnelle de systèmes propulsifs jusqu'à la responsabilité du département turbomachines. Il dirige aujourd'hui le pôle Énergie & Propulsion du centre de recherches Safran Tech.**

**L'Union européenne souhaite réduire de 50 % les émissions de  $CO_2$  du transport aérien en 2050 par rapport à 2005. Les améliorations incrémentales ne suffiront pas, il faudra y adjoindre l'utilisation des biocarburants mais aussi des technologies de rupture comme la propulsion hybride électrique.**

*Quels sont les principaux challenges de la propulsion électrique pour un équipementier majeur comme Safran ?*

Indéniablement, fournir des puissances significatives – au-dessus du mégawatt – via les technologies électriques nécessite un effort considérable pour développer les générateurs, les moteurs, l'électronique de puissance

et le système de distribution. Les batteries, en tant que moyen de stockage de l'énergie, sont considérées comme les éléments les plus critiques pour atteindre les objectifs de performance énergétique de systèmes propulsifs hybrides ou tout-électriques. Il faudrait des densités d'énergie du triple ou du quadruple de celles des meilleures batteries actuelles pour obtenir un gain significatif sur des avions court/moyen-courrier. Les piles à combustible sont prometteuses, mais les bilans de masse des systèmes intégrés avec leur gestion thermique ainsi que les inconnues liées à la disponibilité et la logistique de l'hydrogène comme source d'énergie en font davantage des moyens de production d'énergie pour les systèmes non propulsifs plus modestes.



### Quelle a été votre démarche ?

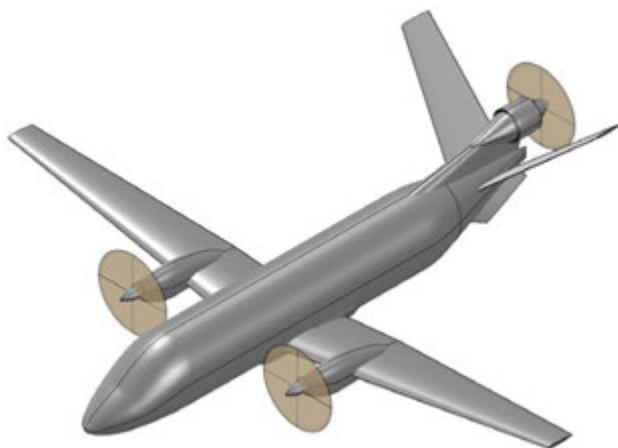
D'un point de vue conceptuel, une quantité d'études théoriques est menée depuis ces dernières années pour mettre en évidence les mérites de différentes architectures d'aéronefs et de systèmes propulsifs, depuis les configurations classiques « tube and wings » actuelles mais munies d'un certain degré d'assistance électrique au turbofan, jusqu'à des ailes volantes plus futuristes munies d'une multiplicité de propulseurs électriques distribués. Face à ces différentes possibilités, Safran a formulé une feuille de route pragmatique et agile, en mesure de s'adapter aux différents besoins qui pourront se concrétiser, tant sur nos marchés traditionnels – aviation civile, business jets, hélicoptères – que pour des aéronefs plus novateurs, avec l'émergence des concepts de véhicules volants pour la mobilité à la demande.

### Qu'en est-il des applications industrielles ?

Sur le plan industriel, la propulsion hybride électrique introduit une rupture avec le découpage classique et faiblement couplé entre le système propulsif (par exemple un moteur LEAP, sa nacelle et ses équipements) et l'avion sur lequel il est installé. Des concepts tels que la propulsion turboélectrique distribuée induisent des interactions très accrues entre le système propulsif et la cellule, y compris en termes de découpage système et de principes de contrôle. Cependant, de par la palette de ses métiers et les sociétés qui le composent, le groupe Safran est en mesure de développer et d'intégrer toutes les technologies nécessaires, depuis les sources de puissance (turbines à gaz, moteurs à combustion interne) jusqu'aux modules propulsifs (fan caréné, hélice), en passant par les éléments de génération, distribution et motorisation électrique.

### Quelles expérimentations avez-vous conduites à ce jour ?

Dans le domaine de la génération d'énergie non propulsive, nous étudions avec Safran Power Units l'hybridation d'une batterie avec une pile à combustible. La technologie « hardware in the loop » permet de simuler l'ensemble du



*Le Pacific, concept Safran Tech de commuter 19 passagers hybride électrique, permettra une économie de carburant de 15 à 20 % en 2035 par rapport à un avion à propulsion conventionnelle.*

système, dans lequel seules la batterie et la pile à combustible sont des composants physiques, le reste étant simulé en temps réel. Safran Helicopter Engines a également démontré que le couplage d'un turbomoteur d'hélicoptère avec un moteur électrique permet une accélération rapide et l'assistance aux transitoires. Sur un bimoteur, cette technologie permettrait de mettre un moteur en veille sur les vols longue durée, et d'assurer sa réactivation en cas de panne de l'autre moteur, avec à la clé des économies de carburant de plus de 10 %. Nous envisageons également avec Safran Aircraft Engines d'expérimenter cette technologie sur des turbofans double corps. C'est le concept d'hybridation parallèle, où une machine électrique est reliée à l'arbre (haute ou basse pression, selon les applications) de la turbomachine.

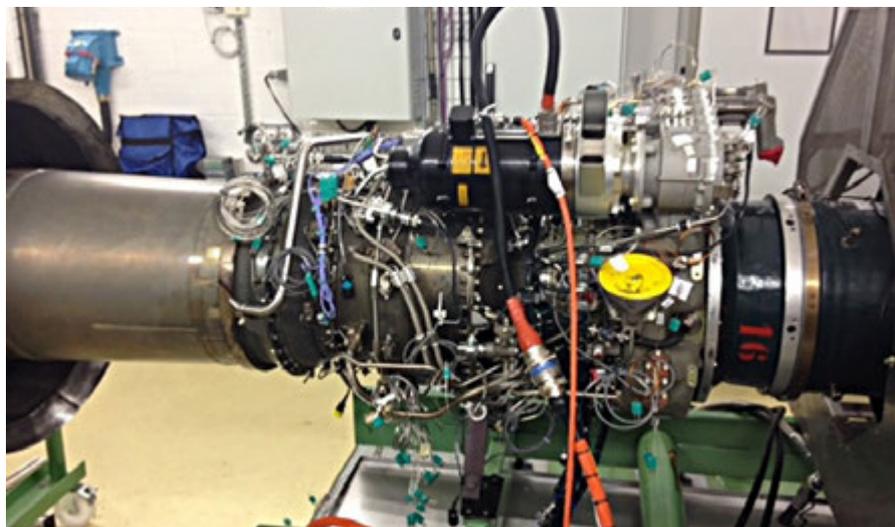
### Selon quel objectif ?

Son objectif principal est d'assister le moteur dans son opération, soit en régime permanent soit lors des accélérations et décélérations. Un tel concept permettrait par exemple de dimensionner un moteur d'hélicoptère au plus juste du besoin en vol de croisière, et d'assurer les besoins de puissance en crête par une assistance électrique. Il serait également possible de réduire les marges de pompage du compresseur, donc d'augmenter son rendement, tout en garantissant un fonctionnement transitoire en toute sécurité. Les études que nous menons montrent que ces concepts sont

d'autant plus intéressants qu'ils bénéficient d'une plus grande intégration entre les systèmes d'énergie propulsif et non propulsif, qui permet de mutualiser les composants électriques critiques comme les batteries.

### En 2050, volerons-nous à bord d'avions tout-électriques ?

À moins qu'une rupture très significative intervienne dans le domaine du stockage, il est peu probable qu'un avion de deux cents passagers tout-électrique fasse partie de notre quotidien en 2050. Il faut de toute façon garder à l'esprit que l'électrification de la propulsion, si elle doit servir la réduction des émissions polluantes du transport aérien, doit être vue comme un tout incluant la production d'électricité elle-même, pas toujours vertueuse sur le plan environnemental.



*Expérimentation d'un turbomoteur micro-hybridé chez Safran Helicopter Engines.*



### À quoi ressembleront alors les systèmes de propulsion ?

On s'orientera plus vraisemblablement vers un mélange équilibré entre des générateurs à hydrocarbures – éventuellement des biocarburants – ou à hydrogène, avec un certain degré d'hybridation électrique, le tout intégré dans des cellules très fortement optimisées sur le plan de la masse et de l'aérodynamique. Au fur et à mesure

que les formules d'avions « plus électriques » gagneront en maturité, on pourra voir apparaître des architectures dites partiellement turboélectriques, exploitant les opportunités de réduction de traînée offertes par l'ingestion de couche limite du fuselage par les propulseurs. Mais cela ne sera sans doute pas suffisant pour atteindre les cibles d'émissions fixées pour 2050 par l'Union européenne dans

le cadre de l'Acare (Conseil consultatif européen pour la recherche et l'innovation aéronautique). Il faudra sans doute aller jusqu'à des architectures encore plus novatrices, avec des propulseurs distribués massivement sur l'aile et des réseaux de distribution électrique de forte puissance à machines supraconductrices, pour atteindre l'efficacité énergétique nécessaire pour relever ces défis. ■

## LE CONCEPT AMPÈRE D'AVION ÉLECTRIQUE À PROPULSION DISTRIBUÉE



Jean Hermetz, entré à l'Onera en 1991 comme ingénieur de recherche, a développé des méthodes et techniques de conception de type MDO (Multidisciplinary Design Optimisation) applicables notamment aux drones et aux avions civils. Aujourd'hui chargé de mission pour les nouvelles configurations d'aéronefs, il assure le développement de la filière propulsion électrique pour l'aviation de demain et dirige également le développement du démonstrateur en vol de lancement aéroporté *Éole* pour le compte du Cnes.

Lancé par l'Onera, le centre français de recherche aérospatiale, *Ampère* est un projet visant à valider le concept de propulsion distribuée électrique. Après une première campagne d'essais d'une maquette en soufflerie à Lille en 2016, la mise au point d'une simulation complète est en cours sur la base des résultats obtenus.

LA PROPULSION ÉLECTRIQUE est aujourd'hui une réalité pour tout un chacun dans le domaine automobile. Les technologies et principes correspondants, en développement permanent, ont amené à envisager leur usage en aéronautique. Quelques réalisations pionnières montrent qu'un potentiel existe, tout en soulignant par ailleurs leurs principales limitations : en effet, les contraintes et les spécificités aéronautiques ne permettent pas à ce jour d'affirmer avec certitude que ce type de propulsion sera à l'avenir significativement présent dans l'espace aérien.

Dans la logique de sa mission d'organisme de recherche, l'Onera a lancé *Ampère* (avion à motorisation répartie électrique de recherche expérimentale), un projet destiné à mieux évaluer le concept de propulsion électrique distribuée. Cette technologie a été identifiée lors d'une action de prospective menée en commun avec le CEA, pour cerner à la fois la faisabilité et le potentiel de la propulsion électrique pour l'aviation commerciale. L'un des avantages majeurs de ce principe de propulsion est de tirer parti de la facilité de transport et de distribution de l'énergie offerte à bord



Le projet Ampère Onera.

par l'électricité pour repenser la propulsion de l'appareil et mutualiser plusieurs fonctions essentielles de l'avion.

### Le concept plane Ampère

*Ampère* est un concept plane conçu pour répondre aux exigences du concept de « mobilité à la demande<sup>1</sup> », à savoir : transporter en deux heures quatre à six personnes sur une distance de 500 km, en toute sécurité, sans nécessiter de compétences de pilotage particulières, à une altitude de croisière de l'ordre de 10 000 pieds. Conçu pour opérer entre des villes de taille moyenne pour lesquelles il n'existe pas de moyen de transport partagé facilement accessible, il doit être capable de décoller et atterrir au voisinage de zones urbaines, et donc disposer de capacités de décollage et atterrissage courts. Si l'assistance au pilotage permet de voler en toute sécurité, elle offre aussi un accès au plus grand nombre. La notion de pilotage est alors gommée au profit de celle de conduite du vol.

D'une envergure de 14,5 m pour une masse au décollage de 2 400 kg, le concept plane *Ampère* est un ensemble cohérent de technologies de propulsion

1 - Voir : [www.nianet.org/ODM/roadmap.htm](http://www.nianet.org/ODM/roadmap.htm). L'Onera a été pionnier dans ce domaine en pilotant le projet européen PPlane, [www.onera.fr/fr/zoominthelab/pplane-avionlib](http://www.onera.fr/fr/zoominthelab/pplane-avionlib)

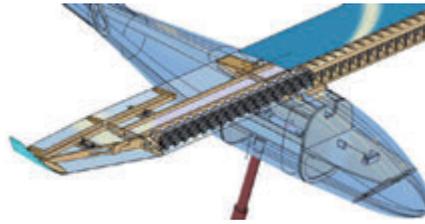


électrique, dont la première est la propulsion distribuée. Elle est réalisée ici à l'aide de quarante fans électriques assurant, au-delà de la propulsion, à la fois une capacité d'hyper sustentation et un contrôle partiel de l'altitude de l'appareil. Ces fans sont alimentés par dix piles à combustible (PEMFC alimentées par de l'hydrogène à 700 bars, chacune avec son propre réservoir), destinées à assurer une bonne répartition de l'alimentation électrique et à minimiser les effets de la panne moteur, notion étendue à celle d'une chaîne de propulsion. Ainsi, chaque pile à combustible alimente quatre EDF (Electric Ducted Fans) situés en double symétrie sur la voilure.

## Un projet de développement technologique

Le concept plane *Ampère* est également un projet de développement technologique centré sur les aspects aéropulsifs de l'hyperdistribution à base d'EDF et sur le contrôle multimoteur et multigouverne du pilotage. Il permettra *in fine* d'accroître les compétences en conception multidisciplinaire de tels véhicules présentant de forts couplages entre configuration et intégration du système propulsif.

L'approche retenue combine des travaux numériques et expérimentaux, avec notamment des essais en soufflerie d'une maquette motorisée à l'échelle 1/5. Après une première année consacrée à finaliser le prédimensionnement de l'appareil, puis celui de la maquette de soufflerie, et à sélectionner les composants essentiels de sa motorisation,



Conception par ordinateur de la maquette de soufflerie.

l'année 2016 a été consacrée à la conception détaillée de la maquette – notamment la définition géométrique locale de l'intégration des fans par CFD<sup>2</sup> – puis sa fabrication<sup>3</sup> et l'intégration des équipements, et enfin son montage en veine. Les essais se sont déroulés de décembre 2016 à février 2017 dans la soufflerie Onera L2 (Lille). Cette soufflerie basse vitesse (19 m/s) présente une section de 6 x 3,5 m adaptée à l'accueil de maquettes de dimension relativement imposantes pour des appareils du domaine de l'aviation légère (notre maquette *Ampère* mesurant quant à elle 2,9 m d'envergure). Elle est



Fabrication de la maquette de soufflerie intégrant le système propulsif.

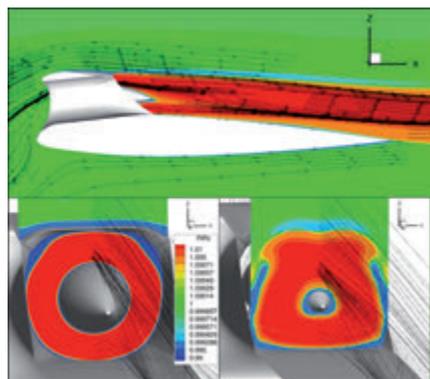


Installation de la maquette dans la soufflerie Onera L2 de Lille.

motorisée à l'aide de turbines électriques du commerce, caractérisées individuellement en amont par essais unitaires, et intègre une instrumentation conséquente, entre celle dédiée à la surveillance de la motorisation et l'équipement plus classique d'acquisition de champs de pression et d'efforts généraux à travers une balance six composantes.

2 - Computational Fluid Dynamics. L'Onera développe le logiciel elsA, utilisé notamment par les grands industriels européens du secteur.

3 - Sous-traitée à Aviation Design ([aviation-design.fr](http://aviation-design.fr)).



Étude de l'intégration de la propulsion distribuée.

Le dépouillement des essais vient de commencer. L'objectif est double : d'une part confirmer, compléter et affiner la connaissance du comportement de cette propulsion hyperdistribuée, notamment aux limites du domaine, là où la simulation numérique reste encore imparfaite (par exemple en conditions de forte incidence), et d'autre part constituer un modèle aérodynamique complet pour développer les lois de pilotage spécifiques à ce concept et alimenter un simulateur de vol pour la démonstration des performances et des capacités attendues de l'appareil.

Pour conclure, la propulsion électrique aéronautique est une réalité tangible dans le domaine de l'aviation légère et sportive, et de nombreux projets montrent que la présence de ces appareils va s'accroître sur les terrains d'aviation, modifiant durablement le paysage aéronautique, les usages ou encore les relations avec le voisinage. Les exigences réglementaires, notamment en termes de réduction des nuisances sonores ou environnementales, et le contexte de raréfaction des ressources fossiles donnent un intérêt particulier à ce moyen de propulsion. Les technologies qui le composent, les degrés de liberté qu'il ouvre en conception, les changements importants dans les domaines scientifiques et les métiers à intégrer dans la conception, mais aussi le changement notable de paradigme qu'il sous-tend, méritent une attention particulière de la part de la communauté aéronautique. L'Onera, par son investissement dans ce domaine (illustré par *Ampère*, mais également au travers de son implication dans les grands programmes européens comme *Clean Sky 2*), contribue à cet effort et propose de le poursuivre en partenariat avec les grands acteurs industriels du domaine. ■



## VOLTA, L'HÉLICOPTÈRE ÉLECTRIQUE

C'est à Étienne Oehmichen (ECP1908) que l'on prête l'invention de l'hélicoptère dont il effectua le premier kilomètre en circuit fermé le 4 mai 1924 près de Montbéliard. Trente ans plus tard, le *Djinn*, un mini-hélicoptère biplace à réaction par éjection d'air en bout de pale, fit son premier vol le 16 décembre 1953. De taille et d'aspect comparable, *Volta*, prototype d'hélicoptère électrique, a été présenté officiellement le 19 octobre 2016 sur l'héliport de Paris Issy-les-Moulineaux. Philippe Antoine, son concepteur, nous explique le cheminement ayant conduit à ce prototype ainsi que les potentialités offertes par un tel appareil.

### À quand remonte l'origine du projet ?

Dans les années 1990, au sein de mon école d'origine l'Ésstin – École supérieure des sciences et technologies de l'ingénieur de Nancy –, j'ai initié le projet *Microcopter* avec le professeur responsable du pôle mécanique et des élèves en cours d'études, ainsi que le soutien de l'entreprise lorraine de construction mécanique SIMB. Il s'agissait à l'époque d'un hélicoptère à moteur à pistons conçu pour apporter quelques innovations aux hélicoptères de loisir. Ce *Microcopter* a été exposé aux salons du Bourget de 2003 et 2005. Une série de vols effectués en 2004 et 2005 ont révélé une instabilité chronique du régime moteur qui n'a pas été résolue, malgré l'intervention de spécialistes. Le projet a dû être abandonné, une remotorisation de l'appareil ayant été jugée trop coûteuse. *Microcopter* a ainsi été stocké dans un garage pendant plusieurs années.

En 2009, les premières batteries lithium-ion de forte capacité dotées d'une énergie spécifique élevée étaient produites en grande série pour les besoins des premières voitures électriques de grande diffusion, telles *Zoe* et *Leaf*. Quelques rapides calculs m'ont montré qu'avec de telles batteries issues de l'automobile et en équipant *Microcopter* de moteurs électriques performants, j'étais capable de le faire décoller et tenir en l'air pendant quelques minutes. Ainsi était né le projet *Volta*.



Philippe Antoine à bord du Volta.

### Comment l'avez-vous financé ?

Pour autofinancer le projet *Volta*, j'ai créé une société commerciale, Aquinea, dans un secteur qui me semblait pouvoir générer rapidement les fonds nécessaires à la poursuite du projet sans nécessiter de compétences très pointues ni un engagement de tous les instants, étant moi-même salarié dans l'industrie aéronautique. La vente d'équipements de piscine m'est apparue comme un bon créneau. Épaulé par mon épouse et un partenaire, l'affaire s'est révélée rapidement rentable et les excédents d'exploitation m'ont permis de mener le développement de *Volta* jusqu'aux premiers vols. À noter au passage qu'il s'agit là d'un mode de financement de l'innovation assez original qui permet de conserver la maîtrise du projet. En contrepartie il faut parfois être très patient et le planning de développement dépend des fonds disponibles.

En mars 2014 *Volta* était pratiquement prêt à voler. Seule l'interface homme-machine était en travaux et la défaillance du partenaire en charge du développement du logiciel nous a alors arrêtés pendant plus d'un an. En mai 2015, nous avons exposé *Volta* à l'occasion d'une table ronde sur l'aviation électrique

organisée par l'Enac – École nationale de l'aviation civile. L'un des laboratoires de recherche de cette école est spécialisé dans les interfaces homme-machine et les chercheurs ont été immédiatement convaincus qu'ils pouvaient apporter leur contribution au projet puisqu'ils travaillaient déjà sur une problématique similaire pour Airbus Innovation et leur avion électrique *E-Fan*. En quelques mois, sur la base de l'environnement générique *Djinn* conçu et breveté par l'Enac, l'interface était opérationnelle et nous entamions la campagne d'essais au sol. Celle-ci a commencé le 23 février 2016 sur l'aérodrome de Castelnau, dans les locaux appartenant à l'Enac, et se poursuit actuellement.

### Quelle est la spécificité de l'hélicoptère électrique ?

La sustentation d'un avion est majoritairement assurée par le profil de l'aile en incidence dans l'écoulement, la propulsion se limitant à vaincre la traînée. Dans le cas de l'hélicoptère, le moteur doit en plus assurer la sustentation de l'appareil par la rotation du rotor principal – voilure tournante. Lors d'un vol électrique, cela a pour effet de solliciter très fortement les batteries. Celles-ci se déchargent dans un temps deux fois plus court que pour un avion électrique de capacité égale, ce qui conduit à une usure prématurée de ces batteries – les batteries de *Volta* ont une durée de vie de 350 h. Par la suite, pour pouvoir doubler l'autonomie et la charge utile il faudra remplacer les batteries actuelles par des modèles plus récents dans le cadre d'un nouveau développement. L'objectif est d'atteindre dans les trois ans qui viennent une endurance de 30 min en tour standard d'aérodrome avec deux pilotes à bord et une importante réserve, contre un quart d'heure actuellement avec un seul pilote.

### Les batteries constituent donc bien le principal enjeu du vol électrique...

Effectivement, c'est la principale difficulté du vol électrique : la capacité de stockage par unité de masse de batterie – par rapport au pétrole – et aussi le



Volta en vol.

besoin de refroidissement des batteries en cours de décharge, afin de ne pas initier une situation d'emballement thermique conduisant à l'inflammation, voire l'explosion d'un élément et le risque de propagation à l'ensemble de la batterie. Les progrès réalisés dans le domaine des batteries depuis le choix réalisé au lancement de *Volta* permettent d'envisager l'avenir avec un certain optimisme, en particulier l'arrivée prometteuse de la chimie lithium-soufre qui laisse entrevoir un doublement de la capacité des éléments à masse égale et l'amélioration considérable du niveau de sécurité par la mise en œuvre d'électrolyte solide.

### **Quels sont les débouchés d'un hélicoptère de petite taille à propulsion électrique ?**

Le créneau pour un tel appareil est l'apprentissage initial du pilotage. Cet apprentissage, plus fatigant que celui d'un avion, s'accommode bien de créneaux courts, de l'ordre de la demi-heure avec échange des batteries entre chaque vol. Il consiste en des tours de piste, du vol en/hors effet de sol et l'apprentissage de l'autorotation qui est la manœuvre de sauvegarde en cas d'arrêt du moteur en vol. La propulsion électrique permettrait, selon nos premières indications, de diviser par deux le prix de l'heure de vol qui est actuellement de l'ordre de 400 euros pour un hélicoptère à pistons, mais également de réduire les nuisances sonores au voisinage du terrain.

### **Quelles sont les principales sources de bruit d'un hélicoptère ?**

Le bruit du rotor principal (flapping), mais aussi du rotor arrière, du moteur ou de la turbine (sifflement) et le bruit de la boîte de transmission. Dans cette gamme d'appareils, le remplacement du moteur à pistons par un moteur électrique permet de réduire considérablement le bruit du moteur. Il sera également possible de faire varier le régime rotor au cours de vol et ainsi d'améliorer l'efficacité énergétique ou de réduire les nuisances sonores selon les phases ou les circonstances. Un programme de recherche sera engagé avec l'Onera sur ce sujet ainsi que sur le développement de profils de pale optimisés pour un appareil de faible masse.

### **Quelle est la suite prévue pour le projet Volta ?**

Aujourd'hui nous sommes à un tournant : Aquinea est une petite société et *Volta* constitue l'aboutissement de nos travaux. Nous avons démontré en vol le premier hélicoptère 100 % électrique réalisé sur la base d'un hélicoptère monorotor, qui est de très loin la configuration la plus répandue. Avec l'Enac, nous sommes convaincus que la formule apporte de réels avantages pour certaines applications, notamment pour l'instruction et le transport léger en zones urbaines. Il reste cependant beaucoup de chemin à parcourir pour en faire un appareil performant, sûr et certifiable. Mais la suite du projet est désormais assurée puisqu'un

consortium réunissant l'Enac, Altran et l'Onera a été constitué pour démontrer d'ici trois ans la viabilité du projet *Volta 2*, un hélicoptère biplace d'une autonomie de 30 min. Rendez-vous donc au salon du Bourget 2019 !

### **LES COMMANDES DE PILOTAGE D'UN HÉLIPTÈRE**

La sustentation et la propulsion d'un hélicoptère sont assurées par le rotor principal entraîné par le moteur. À l'arrière, un rotor anticouple a pour rôle de contrer le couple induit par l'action du moteur sur le rotor principal (sauf dans le cas du *Djinn*, propulsé par des jets en bout de pales sans aucune transmission mécanique).

Les commandes principales sont :

- le levier de pas cyclique (manche) : le manche contrôle l'inclinaison du disque du rotor principal en créant une modification cyclique de l'angle d'incidence des pales (accélérer/ralentir, tourner) ;
- le levier de pas général (ou collectif) : le collectif contrôle l'angle de pas de toutes les pales, ce qui a pour conséquence de modifier la portance générée par le rotor (monter/descendre) ;
- le palonnier (aux pieds) augmente ou diminue l'incidence des pales du rotor de queue, et donc la force de poussée générée par celui-ci (anticouple) ;
- les gaz (ou le « courant » dans le cas de *Volta*).



## LA CROISIÈRE JAUNE PAR LA VOIE DES AIRS...



Baptistou Loiselet (ECL04), passionné des grands espaces, a passé peu de temps dans des bureaux. En 2006, après un hivernage d'un an aux îles Kerguelen, il part faire le tour de l'Atlantique à bord du *Bel Espoir II*, une goélette trois-mâts. À son retour en 2007, il devient technicien ROV (sous-marin télé-opéré). De 2010 à 2016, il est directeur du département ROV de Jifmar Offshore Services. Durant cette période, il fera un voyage de quatre mois en voilier en Antarctique depuis la Patagonie.

Bien que nous vivions une époque moderne, nous en sommes encore aux tout débuts de l'aviation électrique. La Manche a été franchie en 2015, un tour du monde a été bouclé en 2016, et voici maintenant que naît dans la tête d'un jeune Centralien, Baptistou Loiselet (ECL04), l'idée d'un raid aventure en planeur, en totale autonomie, à travers des contrées inhospitalières comme le désert de Gobi...

À la différence de tous les vols solaires ou électriques réalisés jusqu'à présent, l'idée n'est pas née directement d'une envie de faire une démonstration en faveur de l'écologie ou des dernières technologies, mais d'une passion personnelle bien concrète : voyager facilement en milieu désertique.

Adeptes de voyages et d'expéditions, je projette d'aller visiter l'Asie centrale. Mais comment parcourir des milliers de

kilomètres en milieu peu ou pas habité ? Certains se souviennent de la Croisière jaune dans les années 1930 : une expédition organisée par André Citroën à travers l'Asie avec plus de quinze autochenilles et plusieurs dizaines de tonnes de carburant pour rallier les deux bords du continent. Pas question en ce qui me concerne de mettre en œuvre un tel déploiement logistique, ni même d'y aller à pied ou à cheval. Je crois tenir une solution bien plus efficace : par la voie des airs, en utilisant des énergies renouvelables « récoltées » sur place.

### Un vol en planeur

Habitué à la voile, je me suis mis au vol à voile il y a trois ans. Le planeur s'avère être une machine particulièrement efficace lorsqu'il s'agit de parcourir de grandes distances sans moteur, en utilisant uniquement l'énergie de l'atmosphère.

Il faut juste pouvoir décoller. La plupart des planeurs se font remorquer par un avion ou lancer avec un treuil, mais certains, appelés moto-planeurs, disposent d'un moteur les rendant autonomes. Remplaçons le moteur thermique par un moteur électrique, le réservoir par des batteries et installons des panneaux solaires sur les ailes : voilà la solution !

Le bilan énergétique est prometteur, comme le montre l'exemple du *Sunseeker Duo* qu'Éric et Irena Raymond ont eu la gentillesse de me montrer : avec 23 m<sup>2</sup> de cellules solaires, il capte facilement 3,5 kW de puissance photovoltaïque, ce qui lui permet même de faire du vol en palier directement à l'énergie solaire. Il embarque aussi 8 kWh de batteries, et son moteur de 25 kW lui permet de décoller facilement. Il s'agit néanmoins d'une machine prototype fragile, donc peu adaptée au voyage dans des contrées non équipées de pistes d'atterrissage. On peut aussi citer l'exemple du *Sunxelec* de Francis Marlier, un petit planeur monoplace doté de 6 m<sup>2</sup> de panneaux solaires. Résultat : avec ses 4 kWh de batteries et son moteur de 18 kW, il effectue depuis quatre ans de beaux vols du côté de Strasbourg. En quatre heures de vol planeur pur, porté par les vents ascendants, il arrive à recharger à 100 % ses batteries vidées par le décollage.

En fait, si on ne cherche pas la performance pure, mais plutôt la polyvalence,



Photomontage d'un planeur électrique survolant un paysage de Mongolie.



lence, le bilan énergétique devient beaucoup plus facile à satisfaire. Dans mon cas, j'ai besoin d'un ou deux décollages par jour, ce qu'une journée d'ensoleillement classique offre facilement.

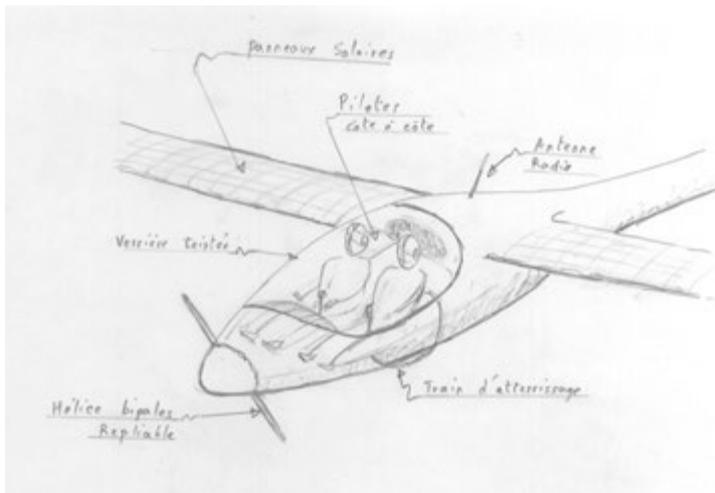
## La recherche du compromis

Mon objectif est avant tout de voyager. Il ne s'agit pas de faire le tour du monde à dix mille mètres d'altitude, mais d'effec-

tuer un maximum d'escaliers courtes pour pouvoir visiter des lieux extraordinaires avec leur faune, leur flore et leurs habitants. C'est à mon sens nécessaire pour qui souhaite mieux comprendre le monde dans lequel nous vivons.

Le challenge est plutôt de trouver la machine qui va se placer à la croisée des différents compromis. Par exemple, pour pouvoir atterrir dans n'importe quel carré vaguement plat, il faut une machine différente de celles prévues uniquement pour se frotter aux pistes bitumées des aéroports. Premier dilemme : plus un planeur est performant, c'est-à-dire capable de faire de la distance facilement (meilleure finesse), plus il a besoin d'atterrir à grande vitesse : autour de 110 km/h. Essayez donc de rouler à une telle vitesse sur un chemin caillouteux, vous aurez intérêt à avoir de bons amortisseurs. À l'inverse, certaines machines ayant une finesse et une charge alaire plus faibles sont capables de se poser à 50 km/h. Il faut viser une machine robuste, avec une vitesse d'atterrissage faible, un train d'atterrissage capable d'encaisser des irrégularités, des performances en vol néanmoins correctes et une capacité d'emport de bagages.

Les bagages, c'est un vrai sujet ! Actuellement aucun planeur n'est conçu pour en emporter, les vélivoles ne faisant que des vols à la journée. Mon besoin est de trente kilos : dix d'outillage, dix de nourriture et dix d'affaires personnelles (tente, sac de couchage...). Une solution serait de partir d'un planeur biplace et d'utiliser la deuxième place pour les bagages. Mais dans ce cas, il est difficile de trouver une machine disposant d'une vitesse d'atterrissage faible, les



Croquis du projet.

planeurs ultralégers étant exclusivement monoplaces.

La tenue des ailes en température est une autre difficulté. Le composite n'est pas très tolérant à la chaleur, c'est la raison pour laquelle tous les aéronefs en composite sont blancs. Des cellules solaires peuvent chauffer fort par effet « corps noir ». En plein soleil d'été, sans vent, un planeur stocké au sol durant la recharge pourrait atteindre une température de 100 °C au niveau des ailes. Les fabricants d'aéronefs utilisent de manière classique de la résine L 285 « aéro », cuite à 55 °C. D'après les données techniques, cela amène la TG (température de transition vitreuse) de la résine à 85 °C. Une des possibilités serait de recuire l'aile à 80 °C pour atteindre une TG de 105 °C. Il sera difficile de convaincre un fabricant de le faire lors de la construction, au risque d'endommager les moules. Ou alors il faut utiliser d'autres composites, prévus eux pour supporter la chaleur, mais là se pose la question de la certification de la machine.

## La réglementation, un point sensible

Il faut trouver la bonne catégorie. En classe planeur, les modèles sont certifiés, impossible donc de changer les matériaux utilisés ou de modifier une étape du processus de fabrication. La classe ULM est plus permissive, mais limitée en poids au décollage. Si on part d'un planeur biplace et qu'on condamne la deuxième place pour y installer les batteries et le matériel, il sera difficile de rester en dessous des 315 kg autorisés.

Reste le certificat de navigabilité res-

treint d'aéronef (CNRA), réservé à la construction amateur. Mais dans ce cas, pas question de modifier un planeur déjà existant : 51 % de la machine au moins doit être construit par un particulier ou une structure à but non lucratif.

Le challenge est bien là mais il n'est pas insurmontable. Petit à petit, chaque question trouve une réponse, et je pense disposer d'ici peu d'une première machine en état de vol pour faire le tour de France en mettant au

point le voyage en autonomie complète. Ce serait déjà une belle étape : à ma connaissance, le tour de France à l'énergie renouvelable n'a jamais été fait.

Si à la base ce projet est personnel, il promet d'être un excellent vecteur d'éducation et de communication autour des énergies renouvelables, du voyage et de la responsabilité sociale. L'idée est posée, les solutions entrevues, reste à mettre le projet en pratique. Et pour cela tout aide est la bienvenue ! À bon entendeur... ■

### LA PERFORMANCE DES PLANEURS

Il y a deux grandeurs qui caractérisent la performance d'un planeur : son taux de chute et sa finesse. Le taux de chute est la vitesse à laquelle le planeur « tombe » en air calme, donc la vitesse verticale minimale pour qu'un vent ascendant tienne le planeur en l'air. La finesse est le rapport entre la distance parcourue et la perte d'altitude, en air calme. Un planeur qui a une finesse de 40 perd 1 000 m d'altitude en parcourant 40 km.

En général, un planeur très léger (200 kg) aura un taux de chute très faible (0,5 m/s), et pourra donc tenir en l'air facilement, mais sa vitesse (130 km/h max) et sa finesse (25) seront faibles. *A contrario*, un planeur plastique lourd (700 kg) au taux de chute de 0,9 m/s aura une vitesse bien plus grande (280 km/h) et une finesse plus importante (jusqu'à 60 !).

Par temps calme, mieux vaut un ultraléger, mais par fortes ascendances, un planeur bien lourd.

# LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE EXTÉRIURE

*Caractérisation, réglementations et législation.*



Professeur honoraire des universités, Jean-Pierre Sawerysyn a enseigné la cinétique et la combustion à Lille 1. En recherche, il s'est notamment intéressé aux mécanismes chimiques responsables de la formation de polluants atmosphériques dans les phénomènes d'oxydation et de combustion. Il a par ailleurs déterminé, en utilisant des méthodes expérimentales et théoriques, les paramètres cinétiques régissant la vitesse de processus chimiques élémentaires d'intérêt atmosphérique. De 2014 à 2016 il a été vice-président du comité Nord-Pas-de-Calais de l'association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (Appa).

## Caractérisation

La pollution atmosphérique se caractérise par une modification de la composition de l'air, aux échelles locale et régionale, par des composés gazeux ou particulaires néfastes pour la santé humaine et l'environnement.

### • Les polluants primaires

Ces composés, émis par des sources anthropiques ou naturelles, sont dits polluants primaires. Leurs émissions sont canalisées (cheminées d'usines) ou diffuses (trafic routier, résidentiel, végétation). Ils peuvent être de nature gazeuse ou particulaire. Les principaux polluants primaires gazeux sont : le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), des composés organiques volatils (COV), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et le monoxyde de carbone (CO). Bien que jouant un rôle déterminant dans le changement climatique en tant que principal gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) n'est pas considéré comme un polluant car il n'est pas nocif pour l'homme. Quant aux particules en suspension dans l'air, également appelées « aérosols », elles peuvent être à l'état solide ou liquide. Elles se caractérisent par une très grande variété de leur composition et leur taille.

Leur composition est en général chimiquement complexe. La taille se définit par rapport aux diamètres apparents des particules exprimés en micromètres ( $\mu\text{m}$ ) et couvre une gamme extrêmement large. Il est d'usage d'utiliser l'acronyme anglo-saxon PM<sub>x</sub> (Particulate Matter ayant un diamètre aérodynamique inférieur à  $x \mu\text{m}$ ) pour la définir. En fonction des valeurs des diamètres apparents, on peut distinguer différentes catégories de particules. Les particules ayant un diamètre apparent compris entre  $10 \mu\text{m}$  et  $2,5 \mu\text{m}$  sont dites « grossières », les particules dont le diamètre apparent est inférieur à  $2,5 \mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>) sont appelées « particules fines », ces dernières incluant les « particules ultrafines » (PM<sub>0,1</sub>) de diamètre inférieur à  $0,1 \mu\text{m}$ . La taille des particules en suspension dans l'air peut varier de

Pendant de nombreux siècles, l'Homme n'a brûlé que de la biomasse pour satisfaire ses besoins énergétiques (cuisson d'aliments, chauffage,...). À partir du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'exploitation du charbon comme nouvelle source d'énergie dans les pays en voie de développement industriel, puis celle du pétrole, ont provoqué une modification significative de la composition de l'air ambiant, conduisant aux échelles locale et régionale à une dégradation de la qualité de l'air. Cette problématique se trouve particulièrement médiatisée au moment des « pics de pollution », lorsqu'elle se traduit par des mesures incitant l'automobiliste à réduire sa vitesse sur les autoroutes ou à respecter la circulation alternée dans les grandes villes (par exemple, à Paris, début décembre 2016).

PAR AILLEURS, des quantités massives de dioxyde de carbone ont été libérées dans l'atmosphère par la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) depuis leur exploitation. En tant que gaz à effet de serre, le dioxyde de carbone est

le principal responsable du changement climatique dont les enjeux sont planétaires. Des réunions internationales ont eu lieu récemment à Paris (COP 21 en 2015) et à Marrakech (COP 22 en 2016) pour définir les conditions d'un accord international sur le climat, applicable à tous les pays, dont l'objectif est de maintenir le réchauffement mondial en deçà des 2°C.

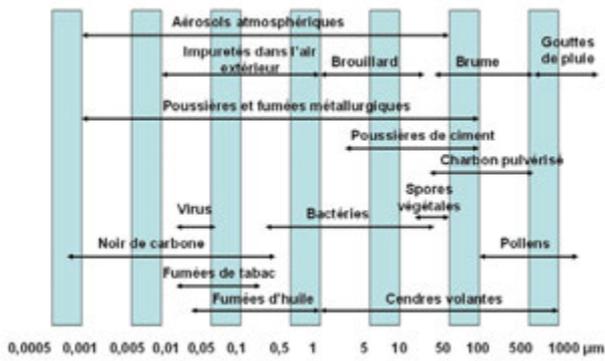


Épisode de pollution aux particules à Paris.

Il est maintenant bien établi que la réduction de la pollution atmosphérique constitue un enjeu majeur de santé publique et pour l'environnement. Pour y répondre, les responsables politiques ont mis en place des contraintes réglementaires sous forme de normes ou d'engagements. Dans cet article, nous rappellerons les principales caractéristiques physicochimiques de la pollution de l'air extérieur ainsi que les réglementations et la législation qui la concernent. Dans un second article, nous examinerons plus particulièrement les risques sanitaires encourus et les coûts estimés pour la société.



Pic de pollution à Lille. Réduction de vitesse recommandée.



Ordres de grandeurs de la taille des particules en suspension dans l'air en fonction de leur origine (d'après le Citepa).

plusieurs ordres de grandeurs. La figure suivante montre, de manière simplifiée, les principales étapes de l'évolution des principaux polluants gazeux et particulaires émis dans l'air extérieur.

Les sources anthropiques d'émission sont très variées : activités industrielles et agricoles, productions d'énergie, transports de type routier, aérien ou maritime, chauffages domestiques et collectifs. La majorité des polluants issus des activités humaines proviennent de la combustion des combustibles fossiles ou de leurs produits dérivés (carburants). Les polluants d'origine naturelle sont également très divers : poussières volcaniques (par exemple, projection massive de poussières dans l'atmosphère due au volcan islandais Eyjafjöll en mars-octobre 2010) ou désertiques, pollens, moisissures, hydrocarbures, etc...

C'est principalement le vent qui assure le transport et la dispersion des polluants dans la troposphère. Les polluants ne s'arrêtent pas aux frontières. Cependant, en absence de vent et dans des conditions anticycloniques, les polluants peuvent s'accumuler près du sol et donner naissance à des brouillards (épisodes de pollution aux particules) comme ce

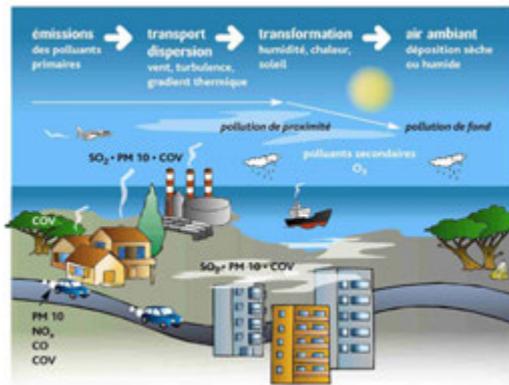


Éruption de volcan Eyjafjöll d'Islande (mars-octobre 2010.)

fut le cas récemment à Paris, Grenoble et Lyon en décembre 2016.

Par ailleurs, selon leur masse, les particules se déposent plus ou moins près de leurs sources d'émission. Quant aux gouttelettes d'eau en suspension dans l'air, elles sont – en présence du soleil – le siège de multiples réactions de photo-oxydation transformant notamment le

dioxyde de soufre dissous en acide sulfurique, ce qui renforce l'acidité des pluies. Il convient de préciser que la pollution de proximité correspond à la pollution rencontrée près des sources, à la différence



Évolution des principaux polluants primaires émis dans la troposphère.

de la pollution de fond qui caractérise celle observée loin des sources, après dispersion et transformation dans la troposphère.

• **Les polluants secondaires**

Durant leur transport, et sous l'action du rayonnement solaire, de la température et de l'humidité, les polluants gazeux et particulaires sont transformés au cours de processus complexes de photo-oxydation

en produits parfois plus nocifs que les composés initiaux.

De nouveaux polluants, dits secondaires, peuvent également se former: il s'agit notamment de l'ozone et de particules d'aérosols telles que les particules de nitrate et sulfate d'ammonium.

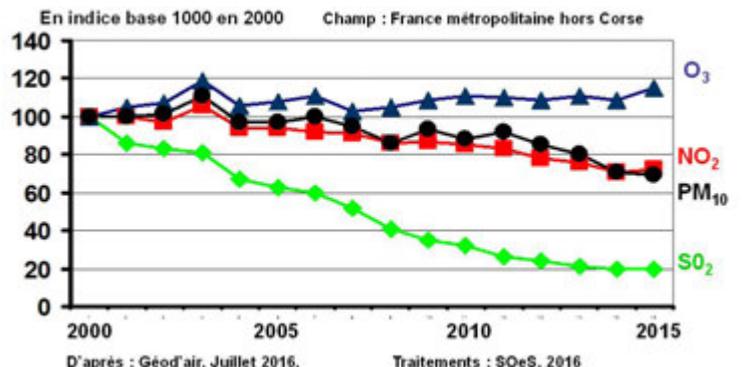
• **Évolution des concentrations moyennes des principaux polluants**

L'examen des inventaires établis chaque année par le Citepa (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) montre que les émissions de polluants anthropiques ont considérablement diminué depuis 25 ans, suite aux contraintes imposées par les réglementations. Cependant, si l'on considère l'évolution de la concentration moyenne (pollution de fond) des polluants primaires tels que SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub>, on constate que leur concentration moyenne dans l'atmosphère a également diminué sur la période 2000-2015, mais pas dans les mêmes proportions que celles mesurées à l'émission.

Depuis 2000, la concentration moyenne du dioxyde de soufre a fortement diminué alors que celles de NO<sub>2</sub> et des PM<sub>10</sub> ont peu baissé. La concentration moyenne de l'ozone, fortement dépendante des conditions météorologiques et du transport longues distances, n'a pas varié de façon significative.

**Réglementations et législation**

Si de nombreuses réglementations ont permis de réduire les émissions de polluants dans l'air, c'est la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Laure) promulguée en 1996 qui apporte,



Évolution des concentrations en SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> et O<sub>3</sub> de 2000 à 2015 pour les stations de fond urbain.

Valeurs réglementaires (concentrations en µg / m <sup>3</sup> )				
Indice	PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
10-très mauvais	80+	400+	240+	500+
9-mauvais	65-79	275-399	210-239	400-499
8-mauvais	50-64	200-274	180-209	300-399
7-médiocre	42-49	165-199	150-179	250-299
6-médiocre	35-41	135-164	130-149	200-249
5-moyen	28-34	110-134	105-129	160-199
4-bon	21-27	85-109	80-104	120-159
3-bon	14-20	55-84	55-79	80-119
2-très bon	7-13	30-54	30-54	40-79
1-très bon	0-6	0-29	0-29	0-39

Valeurs réglementaires fixant l'indice Atmo.

pour la première fois, un cadre législatif à la gestion de la qualité de l'air. Cette loi reconnaît à chacun un droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Elle prévoit une surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire dont la mise en œuvre dans chaque région a été confiée à des associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Les AASQA sont chargées de mesurer la concentration des principaux polluants dans l'air et de participer à l'information du grand public.

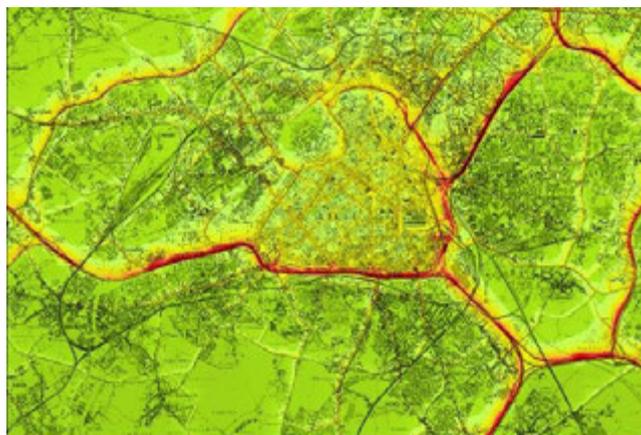
• **Les indicateurs**

En général, seuls quatre polluants indicateurs de la pollution atmosphérique extérieure bénéficient d'un suivi météorologique systématique : le dioxyde d'azote, l'ozone, les PM<sub>10</sub>, et le dioxyde de soufre. Quant à l'information, elle est réalisée dès que la concentration mesurée ou prévue par la modélisation d'un polluant, dépasse une valeur-seuil fixée par la réglementation. Trois niveaux de concentration sont fixés par la réglementation pour chaque polluant :

- un objectif de qualité ;
- un seuil d'information et de recommandation qui déclenche, sur prévision, la diffusion de messages sanitaires destinés aux personnes vulnérables et aux personnes sensibles pour limiter leurs déplacements et activités physiques intenses en air extérieur ;
- un seuil d'alerte, à partir duquel il est recommandé aux personnes vulnérables et sensibles d'éviter les sorties et activités extérieures, et à la population générale de réduire les activités physiques intenses extérieures.

La qualité de l'air est évaluée, dans une zone géographique donnée, par l'indice Atmo déterminé par l'AASQA régionale. Cet indice est élaboré à partir des

mesures réalisées en stations urbaines et périurbaines des quatre polluants-indicateurs de la pollution atmosphérique. Un sous-indice compris entre 1 à 10 est calculé pour chaque polluant et c'est la valeur maximale obtenue pour ces quatre sous-indices qui détermine la valeur finale de l'indice Atmo. Plus l'indice Atmo est élevé, plus la qualité de l'air est mauvaise. D'après l'exemple arbitraire donné dans le tableau fourni, l'indice Atmo définissant la qualité de l'air est de 240 (sous-indice le plus élevé), et la qualité de l'air sera qualifiée de « très mauvaise ». En utilisant des logiciels appropriés, il est également possible de prévoir les valeurs moyennes du jour pour un sous-indice choisi. Ainsi, pour l'agglomération lilloise, la modélisation réalisée pour le 5 octobre 2015 montre clairement que la concentration



Cartographie modélisée des concentrations moyennes des PM<sub>10</sub> centrée sur l'agglomération lilloise pour le 5 octobre 2015. Réalisation ATMO Nord-Pas-de-Calais.

en particules PM<sub>10</sub> est prépondérante près des grands axes routiers. De janvier à août 2015, la région Nord-Pas-de-Calais a dépassé douze seuils d'information et trois seuils d'alerte pour les PM<sub>10</sub>, trois seuils d'information pour l'ozone et un seuil d'information pour le dioxyde de soufre (région de Calais). Rappelons qu'une seule mesure en station suffit, après vérification, pour que le dépassement soit constaté.

• **Les plans d'action**

De nombreux plans d'action ont été mis en place pour réduire la pollution de l'air aux niveaux régional et national. On peut citer les Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) créés par la loi

Laure en 1996, le « Plan Particules » en 2010, le Plan d'Urgence pour la Qualité de l'Air (Puqa) en 2013. En dépit de tous ces plans, onze zones urbaines en France (dont celle de Lille) n'ont pas respecté les seuils réglementaires européens, principalement pour les PM<sub>10</sub>, l'ozone, et NO<sub>2</sub>.

Ces dépassements ont valu à la France une procédure de contentieux avec la Commission européenne. Enfin, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, promulguée en août 2015, prévoit à nouveau une série de mesures incitatives pour réduire la pollution.

**Le futur**

Quels sont les leviers existants pour combattre la pollution de l'air ? La fiscalité, la pédagogie et la réglementation ? Une réglementation plus contraignante, une fiscalité ciblée sont certainement nécessaires pour réduire les effets sanitaires et non sanitaires des polluants atmosphériques. Mais, est-ce suffisant ? La mise en place de nouvelles réglementations ne pourra s'avérer efficace que si elle est comprise et acceptée par tous. Cette acceptation suppose une politique de sensibilisation, d'explication, d'accompagnement du grand public.

Enfin, la pollution de l'air et le changement climatique constituent deux préoccupations environnementales majeures qui résultent toutes deux de l'exploitation intensive des combustibles fossiles. Étant produites par les mêmes causes, ces deux problématiques pourraient être traitées par la promotion d'une société « bas carbone », basée sur la sobriété, le développement des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Cette transition énergétique, longue et difficile, ne pourra se faire qu'avec la collaboration de tous.

Jean-Pierre Sawerysyn ■

**POUR EN SAVOIR PLUS :**

- APPA - Hauts-de-France
- Atmo-Nord-Pas de Calais
- Bilan de la qualité de l'air en France. Octobre 2016
- Citepa-Format Secten. Mise à jour Juillet 2016

# LA SALLE À MANGER DE NÉRON À ROME

*Numérisation 3D, modélisation virtuelle et impression 3D.*

Florent Laroche, maître de conférences à l'École Centrale de Nantes et chercheur au LS2N (laboratoire des sciences du numérique de Nantes) et Matthieu Quantin, docteur au LS2N, avec la participation de Nathalie André, architecte, laboratoire IRAA, CNRS-AMU, Lyon et Françoise Villedieu, archéologue, CCJ, UMR 7299 – AMU, Aix-en-Provence et avec la contribution de Matthieu Gabay, d'Eléna Puroski, étudiante à l'École Centrale de Nantes, du musée d'Archéologie méditerranéenne de Marseille, de l'École française de Rome, du laboratoire Arc'Antique - Grand Patrimoine de Loire-Atlantique et de l'entreprise R&C.

Cet article témoigne de la **rétro-conception et fabrication à l'échelle 1:80 (maquette) d'un objet mécanique ancien exceptionnel : la salle à manger tournante de Néron, située sur le mont Palatin à Rome. Ce projet engage des archéologues, des ingénieurs, un muséographe et conservateur de musée. Le bâtiment, dont les soubassements ont été découverts en 2009, construit en l'an 63, avait la particularité d'être mécanisé : un plateau rotatif offrait une vue sur la ville aux convives durant les banquets de l'empereur.**

LA CONCEPTION repose sur un système d'hypothèses archéologiques dynamiques comportant de fortes incertitudes (fouilles en cours), elle est donc modulaire pour intégrer l'évolution des connaissances au cycle de vie de l'objet. La fabrication du bâtiment est réalisée par impression 3D, le mécanisme est un système composite autant du point de vue des matériaux (acier, plastique) que des composants (mécanismes antiques et contemporains). La maquette restitue une hypothèse du mécanisme ainsi que le mouvement associé. L'ensemble du processus : conception, fabrication, installation a dû tenir compte des délais très courts dans le cadre du projet muséographique.

La maquette, matérialisant un ensemble de connaissances et d'hypothèses est

un outil heuristique pour le consortium interdisciplinaire. Elle permet aux archéologues et ingénieurs de dialoguer sur une base commune et d'envisager de nouveaux développements. C'est une démonstration du principe même de prototypage rapide et elle fait l'objet d'une exposition au musée d'Archéologie de Marseille (Vieille-Charité) jusqu'à l'été 2017 dans le cadre de l'exposition temporaire *Le Banquet*.

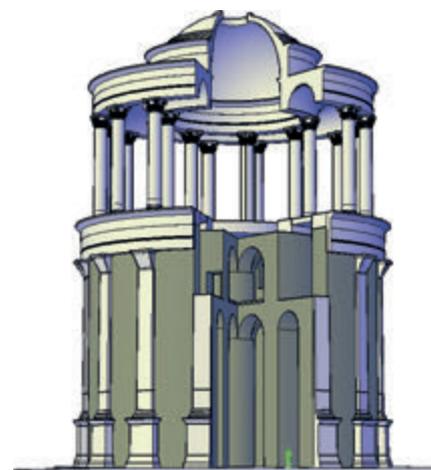
Depuis plusieurs années, la 3D a intégré l'ensemble des activités intellectuelles et physiques de notre vie quotidienne tant personnelle que professionnelle. Le milieu muséographique n'a pas échappé à cette tendance. Il est partagé entre deux points de vue : d'un côté une capitalisation historique à des fins de compréhension scientifique de notre patrimoine, de l'autre une vulgarisation à destination du grand public. Notre équipe de recherche travaille depuis plus de dix ans dans ce domaine interdisciplinaire.

public. Notre équipe de recherche travaille depuis plus de dix ans dans ce domaine interdisciplinaire.

## L'objet et le projet : la salle à manger de Néron à Rome

Il s'agit d'un bâtiment cylindrique d'une trentaine de mètres de haut pour vingt-cinq mètres de diamètre, qui aurait

été construit et utilisé entre l'an 54 et 68, par Néron empereur romain, sur le mont Palatin à Rome. Sous la coupole, ce bâtiment aurait accueilli un plateau entraîné en rotation lente, il s'agirait du premier restaurant panoramique tournant de l'histoire.



Reconstitution du bâtiment (coupe sans mécanisme).

Plusieurs campagnes de fouilles archéologiques (2009, 2011, 2014) mettent en évidence une zone dédiée à un mécanisme<sup>1</sup>. Des restitutions numériques présentent les premières hypothèses (voir le reportage du journal du CNRS en 2011 : [lejournald.cnrs.fr/videos/lincredable-salle-a-manger-tournante-de-neron](http://lejournald.cnrs.fr/videos/lincredable-salle-a-manger-tournante-de-neron)). Les connaissances de l'objet sont nécessairement incertaines : la fouille est limitée par des zones dites « réserves de fouilles », tandis que certains éléments ont disparu. Le projet bénéficie du partenariat de la surintendance de Rome et de l'École française de Rome, organisme responsable des fouilles archéologiques sur le Palatin. Pour l'exposition *Le banquet, de Marseille à Rome, Plaisirs et jeux de pouvoir* au musée d'Archéologie de Marseille du 2 décembre 2016 au 21 juin 2017, le choix d'une maquette se justifie par trois objectifs :

– heuristique, pour la recherche. La maquette physique est une base com-

<sup>1</sup> - F. Villedieu, « Une construction néronienne mise au jour sur le site de la Vigna Barberini : la *cenatio rotunda* de la *Domus Aurea* ? » *Neronia Electron.*, n°1, pp. 37-52, 2011.

mune de réflexion pour tous les métiers de l'archéologue à l'ingénieur ;

– muséologique, pour le musée. L'exposition vise à montrer des objets, or la fouille n'a pas découvert de mobilier mais un bâtiment ;

– pédagogique, pour la valorisation. La maquette physique en mouvement démontre plus explicitement le fonctionnement du bâtiment qu'une représentation numérique.

Le dispositif muséographique final positionne la maquette à hauteur d'homme afin de permettre au visiteur de « lire » le mécanisme. Un panorama issu d'une photo semi-circulaire du Palatin assure le décor arrière ; il simule ainsi le regard que Néron posait sur sa ville lors de ses banquets.

## La 3D et le patrimoine

Les cas de rétro-conception d'objets anciens sont nombreux. La composante 3D de la plupart des projets s'arrête à l'acquisition (scan). Cette base permet des mesures *a posteriori* sur le nuage de points acquis. Certains confrontent une restitution (modélisation) hypothétique à l'acquisition<sup>2</sup>. Cette restitution peut concerner des éléments disparus<sup>3</sup>, des corrections<sup>4</sup>, ou un mécanisme qui ne fonctionne plus<sup>5</sup>, et parfois une combinaison des deux<sup>6</sup>.

Côté rétro-fabrication, certains projets se focalisent sur les modèles d'acquisition 3D<sup>7</sup>, parfois pour les restitutions

2 - G. Timofeev, O. Egorova, and I. Grigorev, « Applying Modern CAD Systems to Reconstruction of Old Design » in *New Trends in Mechanism and Machine Science*, 2017, pp. 323-331.

3 - A. Dardenay, A. Allroggen-Bedel, H. Eristov, A. Grand-Clément, M.-L. Maraval, C. Marotta, N. Monteix, and E. Rosso, « Herculaneum. Des archives aux restitutions architecturales et décoratives » *Chron. des Act. archéologiques l'École française Rome*, Jun. 2016.

4 - P. Fleury, « La Rome Antique sur l'Internet » *Rev. Inform. Stat. dans les Sci. Hum.*, vol. 33, pp. 146-162, 1997.

5 - A. Bernard, F. Laroche, S. Ammar-Khodja, and N. Perry, « Impact of new 3D numerical devices and environments on redesign and valorisation of mechanical systems » *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 56, n°1, pp. 143-148, 2007.

6 - F. Laroche and C. Rajaofera-Renard, « La réalité augmentée aux Forges de Paimpont. Comment mettre en valeur le patrimoine historique et industriel des forges ? » in *Virtual Retrospect*, 2013, pp. 113-120.

7 - T. T. Allard, M. L. Sitchon, R. Sawatzky, and R. D. Hoppa, « Use of Hand-held Laser Scanning and 3D Printing for Creation of a Museum Exhibit » in *6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, 2005.

hypothétiques de bâtiment<sup>8</sup> ou de mécanisme<sup>9</sup>.

Dans notre cas, il s'agit d'une combinaison de plusieurs de ces cas : bâtiment avec acquisition et restitution, et mécanisme en fonctionnement. Il s'agit d'une réalisation d'un grand volume : 530 mm de haut et 350 mm de diamètre par fabrication additive. Ce projet est réalisé dans un temps restreint et à moindre coût et intègre un projet étudiant.

## La conception

Cette phase engage archéologues, architectes, ingénieurs (étudiants et chercheurs), muséographes et conservateurs de musée. Le dessin du bâtiment revient aux archéologues, la conception du mécanisme aux ingénieurs.

**Le bâtiment** : un relevé photogrammétrique sert de base pour la modélisation volumique (manuelle et hypothétique) du bâtiment. L'acquisition 3D du site, dans un contexte fragmentaire urbain, permet de mettre en correspondance des espaces non-contigus lors des fouilles, puisqu'il s'agit de « puits » juxtaposés<sup>10</sup>, mais aussi de mesurer systématiquement les

8 - D. Jacobi and Daniel, « La maquette entre reconstitution savante et récit imaginaire dans les expositions archéologiques » *La Lett. l'OCIM*, n°123, pp. 15-23, May 2009.

9 - M. Vicentini, « Reconstitution de la machine d'Anticythère » *musée du CNAM*, 2011.

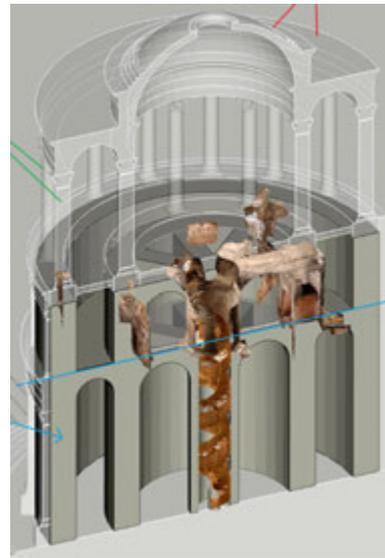
10 - N. André and F. Villedieu, « L'apport de la photogrammétrie numérique à l'analyse architecturale en archéologie » in *Photogrammétrie Numérique et perception 3D : les nouvelles conquêtes (SFPT - ENSG)*, 2016.

écarts du modèle au réel et l'ampleur des zones inconnues.

Nous hiérarchisons les certitudes des connaissances archéologiques<sup>11</sup> selon quatre niveaux, associés à quatre couleurs sur la maquette (blanc – le moins certain –, gris clair, gris foncé et orange – le plus certain). Le bâtiment modélisé est modulaire pour intégrer l'évolution des hypothèses archéologiques. En effet après trois campagnes de fouilles, un prochain chantier est programmé pour l'été 2017. La connaissance du bâtiment sera donc amenée à évoluer, de nouvelles données et connaissances peuvent affecter le système d'hypothèses lié au mécanisme. La maquette du bâtiment se découpe en trois secteurs angulaires, chacun peut être mis à jour indépendamment de l'ensemble. Un quart du bâtiment n'est pas représenté sur la maquette afin de laisser l'espace pour différentes versions du mécanisme. L'absence de ce quart de bâtiment permet aussi au visiteur d'observer l'intérieur du bâtiment en coupe.

Le mécanisme d'origine a été entièrement pillé (parties métalliques) et seules quelques traces subsistent. La plupart de ces traces sont des empreintes de barres métalliques dans la maçonnerie. Un travail interdisciplinaire d'interprétation permet de combiner les connaissances archéologiques et historiques et les connaissances en mécanique et matériaux. Ces indications dans la maçonnerie constituent le cahier des

11 - P. Aparicio Resco and C. Figueiredo, « Scale of historical evidence » *Arqueologia y patrimonio virtual*, 2014.



Zones relevées et restitution. Image de Nathalie André.



La maquette du bâtiment.

charges de la rétro-conception du mécanisme. La maquette ne restitue pas ces détails, trop fins pour cette technologie à cette échelle.

**La mécanique :** les Romains disposaient d'un réseau hydraulique développé. L'entraînement du mécanisme est probablement réalisé grâce à une dérivation (l'Arcus Neroniani) de l'aqueduc proche Aqua Claudia dont le débit total était estimé à 191,2 m<sup>3</sup>/jour soit 2200 l/s. Cette dérivation à l'usage du palais, amène entre 384 et 465 l/s<sup>12</sup>, dont 20 % au maximum devaient être consacrés au mécanisme. Une roue à augets alimentée par dessus maximise la puissance pour un faible débit.

La compréhension des traces dans la maçonnerie a donné lieu à plusieurs hypothèses de restitution du mécanisme :

- en 2013 une première étude réalisée par Matthieu Gabay<sup>13</sup> propose deux mécanismes : un premier de type rouet/lanterne/hérisson avec une cage en bois pour contenir les roues et un second avec un arbre vertical de transmission ;
- en 2015 une seconde étude réalisée par Cédric Thireau<sup>14</sup> permet de choisir la transmission par engrenages et calcule la faisabilité des dents pour la transmission des efforts.

Lors de la conception de la maquette, une disposition des axes des roues d'en-



Trace du mécanisme (20 cm).

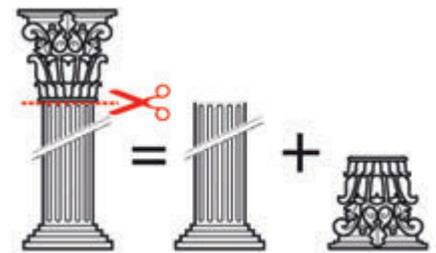
grenages tangentes au mur annulaire est préférée afin de s'affranchir de la largeur de la colonne maçonnée.

Le mécanisme est un réducteur de disposition et de forme hypothétiques, avec en entrée une rotation estimée entre 0,5 et 2 t/min et en sortie une rotation estimée entre 1/240 et 1/120 t/min (soit 1 tour entre 4 h et 2 h). Le facteur de réduction est donc compris entre 60 et 480. Les valeurs d'entrée sont obtenues par le débit et la hauteur de l'aqueduc ; les valeurs de sortie sont arbitraires et correspondent au temps d'un banquet. La puissance disponible en entrée est comprise entre 785 et 1 570 W pour une roue de 4 m de diamètre, un débit de 50 l/s et fonction du rendement de la roue (compris entre 0,4 et 0,8).

Quelques traces permettent d'envisager un mécanisme à ailettes (sphère avec axe de guidage, ancêtre du roulement à billes) supportant le plateau de la salle à manger, dont la disposition n'est pas restituée sur la maquette. Le couple résistant maximal du plateau est borné par la valeur de 330 kNm. Le calcul prend en compte les hypothèses dans leur pire situation : plateau de 28 t, coefficient de frottement de 0,2 (contact bronze-bronze sans roulement) et disposition des ailettes sur le pourtour, soit une puissance maximale d'environ 300 W. Le surplus de puissance en entrée couvre les pertes d'un mauvais rendement du réducteur en bois. Un calcul de dimensionnement des dents a permis de valider l'hypothèse d'un réducteur en 6 roues avec plateau, renvoi orthogonal et dents en bois de 3 à 8 cm de diamètre et hauteur. Une modélisation par éléments finis sous Abaqus a permis de valider certains calculs. Cette modélisation a fait l'objet d'un travail avec un étudiant de l'École Centrale de Nantes.

## La fabrication et l'assemblage

**Le bâtiment :** les délais, courts pour la fabrication d'une maquette au 1:80, ont imposé l'utilisation de technique contemporaine et nous avons opté pour la fabrication additive par *fused deposit material* (FDM) en parallèle sur quatre machines : ultimaker2, Up-Box, Up-Box+ et ZortraxM200. Le bâtiment est redécoupé manuellement en zones selon les quatre contraintes : la construction architecturale avec les étages, l'échelle de certitude archéologique avec les couleurs, le découpage angulaire en trois quarts de bâtiment, les performances de FDM : la forme de pièces en dépouilles verticales évite l'usage de supports, améliore la qualité et diminue les temps de fabrication.



Découpage des pièces en forme de dépouilles verticales.

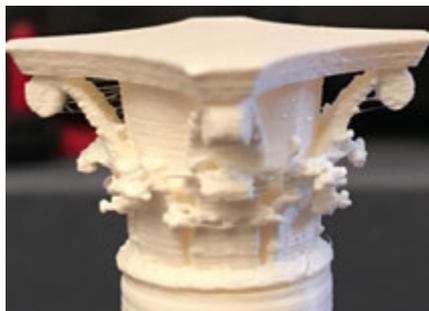
Nous obtenons ainsi 106 pièces. Deux matériaux sont utilisés : PLA et ABS. Le PLA a été utilisé pour augmenter la fiabilité de la fabrication des pièces les plus volumineuses (> 48 h de fabrication). L'incompatibilité des diamètres de filaments (1,75 mm et 2,85 mm) couplée à des contraintes de variations de teinte d'une bobine à l'autre (pour le musée) limitent l'interopérabilité des éléments de la chaîne de fabrication : par exemple les pièces gris clair devaient être réalisées sur une même machine. La rétractation du matériau n'est pas un problème : les tolérances sont larges ce n'est pas de la mécanique fonctionnelle mais un assemblage de composants architecturaux. Le temps total dédié au bâtiment est estimé à environ quarante jours de fabrication ininterrompue. Le temps de mise à disposition ainsi que les accès étant variables d'une machine à l'autre, il a fallu optimiser le dispatching des pièces pour tenir compte des délais.

**Le mécanisme :** après plusieurs échecs pour sa fabrication en FDM, nous nous sommes tournés vers la découpe laser. Les rouets sont construits par un assem-



Plan de Rome - Pirro Ligorio (1561) Arrivée de l'aqueduc.

blage d'axes métalliques rectifiés et de disques de polyméthacrylate de méthyle (plexiglas), découpés et pré-perçés. Ces derniers entraînent des hérissons entièrement en plexiglas de 3 mm d'épaisseur. Lorsque la précision latérale attendue est inférieure au dixième de l'épaisseur, la verticalité du laser ne peut pas être réglée avec suffisamment de précision : dans ce cas nous nous sommes procuré des roues « catalogues » en polyoxyméthylène, polymère stable et dur. Toutes les roues engrènent avec des dents en développante de cercle. Les essais avec des formes plus rustiques ont échoué probablement à cause des imprécisions liées au passage à l'échelle. Par ailleurs, aucune information archéologique ne les documentant, nous avons déterminé expé-



Chapiteau.

érimentalement les éléments suivants : l'utilisation de coussinets en bronze (autolubrifiant) pour la rotation d'une roue sur son axe, le guidage de la roue le long de l'axe, l'usage de circlip pour l'arrêt en translation en frottement sur les coussinets, le montage de l'arbre sur roulement pour limiter les frottements dus à la tension de la courroie d'entraînement. Ce réducteur réduit la vitesse de rotation par un facteur d'environ 243. Ce qui est proche de la valeur moyenne des estimations archéologiques.

L'assemblage des 106 pièces du bâtiment et du mécanisme a été réalisé à Marseille, sur place. Les pièces du bâtiment sont collées et chaque quart de bâtiment est simple à décoller pour mise à jour ultérieure. Les pièces du mécanisme ont été assemblées dans des supports en PMMA et entraînées par une courroie menée par un moteur 36 t/min qui simule l'entrée par la roue hydraulique à auget. Cette rotation en entrée est 40 fois plus rapide que la valeur estimée (36 t/min au lieu de 0,5 à 2 t/min), ceci permet au visiteur de voir le mécanisme en mouvement, le plateau fait un tour en



Vue de la coupole et du mécanisme installé, avec la roue provisoire entraînée par la courroie.

7 min (environ 40 fois plus rapide que la vitesse de rotation réelle estimée).

## Conclusion

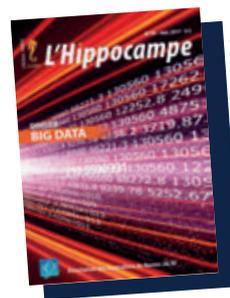
La chaîne de traitement de l'information est complexe : à partir d'un chantier de fouille réel, un relevé photogrammétrique permet de dessiner une reconstitution 3D des éléments manquants du bâtiment ainsi qu'un système d'hypothèses pour concevoir le mécanisme. Ces éléments géométriques sont à nouveau remaniés afin d'être fabriqués par FDM d'une part, et découpe laser d'autre part. Enfin l'assemblage des pièces exige une connaissance de l'ensemble du projet. L'interopérabilité des étapes est fragile et dépend de connaissances tacites. Séparer les tâches sans dégradation de l'informa-

tion le long de la chaîne de traitement semble impossible. La variabilité des disciplines en jeu et des outils manipulés (y compris les logiciels) font de ce projet un ensemble complexe. Le plan de fabrication constitue un problème compliqué, puisque des variables sont interdépendantes (optimisation multicritères). Les outils pour résoudre ce type de problème de fabrication, pour suivre l'information et les pièces jusqu'à l'assemblage, pour concevoir un objet destiné à évoluer sont inexistantes ou inadaptés aux projets de cette envergure. La maquette, matérialisant un ensemble de connaissances et d'hypothèses est un outil heuristique pour ce consortium interdisciplinaire. Elle permet aux archéologues et ingénieurs de dialoguer sur une base commune et d'envisager de nouveaux développements. ■



La maquette dans sa vitrine.

## Les thématiques des dernières revues Centraliennes



## L'ACTUALITÉ DANS NOS ÉCOLES

### CENTRALE LILLE : UN NOUVEAU CURSUS POUR LA FORMATION CENTRALIENNE À LILLE

La rentrée 2017 a plongé les élèves-ingénieurs de première année de la formation Ecole Centrale de Lille dans un nouveau cursus. Celui-ci vise à opérer dès le début de la formation une rupture avec les classes préparatoires, en donnant du sens aux études et au métier d'ingénieur généraliste auquel les élèves se destinent. Des rencontres avec des ingénieurs en activité ont permis de concrétiser le métier mais aussi la formation et ses objectifs.

#### Les principaux changements de ce nouveau cursus sont :

- une personnalisation du cursus plus importante avec des choix d'enseignement dès le semestre 6
- une augmentation de la période de stage obligatoire en entreprise qui passe de 32 à 36 semaines
- de plus longues expériences à l'international avec 6 mois minimum,
- le *track to PhD* : un parcours permettant de faciliter l'accès au doctorat qui commence dès le début de la 3<sup>e</sup> année
- le défi personnel : il permettra aux élèves d'apprendre à se dépasser pour réaliser le défi qu'ils se seront eux-mêmes fixé (projet humanitaire, challenge sportif, entrepreneuriat, recherche...)
- une nouvelle forme de projet : les projets se réaliseront par équipe de 15 à 20, à la manière d'une petite entreprise.

### ÉCOLE CENTRALE DE LYON : UNE RENCONTRE INSPIRANTE

Parce que devenir un leader agile, responsable et ouvert n'est plus une option mais une nécessité absolue, parce que cette transformation individuelle est la première pierre à l'édifice de l'intelligence et de la performance collective, l'École Centrale de Lyon et l'Association des Centraliens de Lyon (ACL) ont permis le 28 juin dernier d'explorer de façon percutante les leviers qui permettront d'accélérer ce changement. Ont ainsi pu éclairer les participants : Alain Duluc et Etienne Basse (Cegos), Audrey Gauthier (Up Academy), Françoise Keller (Concertience), Sophie le Bihan (Institut du Leadership Positif), Marion Trousselard (Médecin Chef aux armées, spécialiste des neurosciences) et le regard décalé d'Edouard Waminya, improvisateur brillant. La rencontre était animée par Roselyne Fayard, journaliste.

### ÉCOLE CENTRALE DE NANTES : A2V, STARTUP DE L'INCUBATEUR CENTRALE AUDENCIA ENSA, REMPORTE UN TROPHÉE USINE NOUVELLE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Le navire d'A2V est lauréat des Trophées de la transition énergétique 2017 dans la catégorie transports durables.

Pour réduire la consommation de carburant des navires de taille moyenne (12 à 100 places), Advanced Aerodynamic Vessels (A2V)

a développé un concept de navire au profil aérodynamique, réalisé entièrement en composite. « Nous avons lancé ce projet en 2013. À l'époque, nous voulions explorer une nouvelle voie, avec des navires de travail qui soient rapides, explique Matthieu Kerhuel (Master ECN 2010 et Docteur ECN 2014), le président d'A2V. Quand un navire est grand, sa performance énergétique est bonne. Quand il



est plus petit, elle s'écroule, donc on réduit la vitesse.» Ce projet de navire deux fois plus rapide que les bateaux conventionnels, avançant à plus de 50 nœuds dans le milieu offshore, permet de diviser par deux la consommation de diesel.

### CENTRALESUPÉLEC ET RTE SIGNENT UNE CHAIRE DE RECHERCHE SUR LES APPORTS DES TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES POUR LES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES

Le 22 juin dernier, CentraleSupélec et RTE ont signé un nouveau partenariat académique d'une durée de cinq ans. Son objectif est d'étudier les potentialités offertes par les technologies numériques pour la gestion du système électrique. Cette chaire impliquera ainsi plusieurs laboratoires et équipes de CentraleSupélec reconnus en France et à l'international autour de quatre disciplines-clés : Communications, Informatique, Contrôle et décision et Génie électrique.

Au travers de ses cursus et de ses laboratoires, CentraleSupélec a été un des acteurs de tout premier plan pour développer cette vision devenue essentielle aujourd'hui : la convergence des domaines de l'énergie et des communications.

### CENTRALE MARSEILLE RÉNOVE SON CURSUS

À compter de septembre 2017, Centrale Marseille déploie un nouveau cursus pour les trois premiers semestres de sa formation. Cette évolution profonde, qui facilitera en outre la lisibilité du programme, a pour ambition principale de favoriser les pédagogies actives, l'engagement des élèves, les projets en situation réelle, l'apprentissage expérientiel, le travail collaboratif, la prise d'initiative, la sensibilisation aux enjeux sociétaux et la connaissance de soi.

Le nouveau cursus généralise à l'ensemble des élèves le rythme de l'alternance. Lorsque son déploiement sera achevé, il conduira chacun à suivre, selon un tempo personnalisé une semaine sur quatre, diverses opportunités : apprentissage en entreprise, alternance en unité de recherche, développement d'un projet entrepreneurial, responsabilité associative, et aussi travaux pratiques, journées d'ouverture, jeux d'entreprise....

## L'ACTUALITÉ DES ASSOCIATIONS



### CENTRALES & SUPÉLEC ALUMNI DAYS

Rendez vous à San Diego les 20 et 21 octobre prochain pour les Alumni Days ouverts à tous les Alumni Centraliens et Supélec. Au programme : des conférences, des visites et la finale du StartUp Challenge 2017. Les trois équipes finalistes qui présenteront leur projet à San Diego seront récompensées par des dotations de \$15 000 pour le premier, \$5 000 pour le deuxième et \$2 000 pour le troisième. Les trois finalistes bénéficieront du soutien du réseau américain des alumni de l'École Centrale de Lyon.



Tous les trimestres durant deux ans, ils feront le point sur l'avancement de leur projet avec les membres du Lyon - US Education Fund Ecole Centrale de Lyon.

Contactez Pascal (allouard.pascal@gmail.com), Guillaume (guillaume.c.guy@gmail.com) et Marc (marc.bollens@gmail.com) pour proposer des speakers et des visites d'entreprises pour les Alumni présents le vendredi après-midi.

Du vendredi 20 octobre 10h au dimanche 22 octobre 12h.

Hôtel SHERATON LA JOLLA - 3299 Holiday Court - CA 92037 LA JOLLA



### MARC BOISSONNET (86) RÉÉLU À LA PRÉSIDENTIE DE L'ASSOCIATION DES CENTRALIENS



Lors de l'assemblée générale ordinaire de l'Association des Centraliens qui s'est tenue le 28 juin 2017, Marc Boissonnet (86) a été élu président pour la deuxième année consécutive. Les administrateurs de l'Association lui ont renouvelé leur confiance en votant à l'unanimité pour un second mandat.

L'Association compte également quatre nouveaux administrateurs : Guillaume Bousson (92), Philippe Carlier (87), Christian Fontanel (74) et Christophe de Roulhac (14).

Retrouve la composition du bureau et du conseil d'administration de l'Association sur le site [www.centraliens.net](http://www.centraliens.net) (puis onglet Association, Organigramme).



### LANCEMENT DU NOUVEAU SITE WEB DE CENTRALE MARSEILLE ALUMNI

Fin février 2017 a été lancé le nouveau site web de notre association. Plus ergonomique, plus intuitif, plus en adéquation avec les usages d'aujourd'hui. Il permet une meilleure interactivité et une meilleure convivialité entre Centraliens de Marseille et entre nos membres et nous-même.

Gageons que cette nouvelle plate-forme Alumforce renforcera nos liens avec les jeunes générations et qu'elle trouvera sa place auprès des plus confirmés.



### CENTRALE NANTES ALUMNI

- **Renouvellement du Bureau** suite à l'AG du 8 avril au siège de l'UNESCO à Paris : Alexis BOURDEAUX (2010), Gérard BUREAU (1976) et Noélie VAREILLE (2014) sont nommés vice-présidents respectivement en charge des groupes régionaux, des grandes instances et de la coordination des Commissions.

- Suite au séminaire stratégique entre responsables de l'Ecole et de l'Association, un comité mixte est mis en place pour préparer les **100 ans de l'Ecole en 2019**.

- Suite à l'AG du 28 juin, **Gérard BUREAU (1976)** a été élu administrateur et membre du Bureau Exécutif d'IESF en qualité de **Secrétaire Général Adjoint**.

- Succès renouvelé de l'opération **Mentorat** : plus de 270 diplômés se sont portés volontaires pour être mentor en 2017 ! Les premiers retours ont été très positifs, tant de la part des mentorés, qui ont pu bénéficier de précieux conseils pour mûrir leur projet professionnel, que de la part des mentors, ravis de pouvoir ainsi partager leur expérience et s'informer sur les actualités de l'Ecole.

- Succès grandissant des **Rencontres Etudiants – Diplômés** organisées dans l'ensemble des groupes régionaux et internationaux autour du 10 mai puis du 6 juillet à l'occasion des stages des étudiants !

- Pour la 4<sup>e</sup> année consécutive, la Commission Permanente Jeunes a créé la **carte des stages et mobilités 2017**, toujours autant plébiscitée par les étudiants, pour ouvrir les portes du réseau Centralien aux jeunes promotions partout dans le monde.

### CENTRALE LILLE ALUMNI

Le nouveau CA issu de l'assemblée générale du 22 avril à Paris a reconduit Roland Marcoin comme président. L'année écoulée a vu se renforcer : les actions à destination des étudiants comme le mentorat dont un premier bilan a été tiré en juillet ; les ateliers professionnalisants très intéressants mais au public encore insuffisant ; la communication avec le développement du portail et des lettres d'info et le tournage d'une vidéo de promotion. Le nombre d'adhérents est stable et une opération est en cours pour la recherche des « perdus de vue ».

L'association a participé aux activités de la rentrée 2017 organisées par l'École pour les nouveaux élèves qui ont témoigné devant des diplômés de leur ressenti sur le métier d'ingénieur ainsi qu'à l'organisation de la Journée Nationale de l'Ingénieur - JNI'2017 - à l'École Centrale de Lille avec une conférence-débat : « Quels choix technologiques pour une société durable ? » à l'occasion du lancement du collectif IESF Hauts-de-France.



# ENQUÊTE NATIONALE IESF 2017 SUR LES INGÉNIEURS

*Quelques extraits...*

IESF, Ingénieurs et Scientifiques de France, a diffusé en juin sa 28<sup>ème</sup> enquête socioprofessionnelle sur la situation des ingénieurs, réalisée en février et mars 2017. 56 000 réponses ont été recueillies cette année, auprès des 136 associations d'ingénieurs diplômés qui ont invité leurs adhérents à répondre à un questionnaire en ligne. IESF a analysé cette année la transformation numérique des entreprises, la formation tout au long de la vie et la perception des ingénieurs sur leur rôle dans la vie publique : 83 % pensent que les ingénieurs devraient être des acteurs plus importants dans la vie de la cité.

## De plus en plus d'ingénieurs et de plus en plus de femmes ingénieurs

La population des ingénieurs dépasse le million, avec une croissance d'environ 4 % par an et continue à se féminiser avec 20,3 % de femmes pour l'ensemble, 22,5 % parmi les moins de 65 ans et 28,5 % dans la dernière promotion d'ingénieurs diplômés en 2016. Ce taux reste quasi constant depuis quelques années. La proportion de femmes augmente régulièrement de 4 % tous les 10 ans. Parmi le million d'ingénieurs, IESF comptabilise 809 000 ingénieurs en activité. En outre, 38 000 nouveaux ingénieurs, diplômés en 2016, remplacent 8 à 9 000 départs à la retraite. L'âge médian des ingénieurs est de 35 ans chez les femmes et de 42 ans chez les hommes.

## 77 % des ingénieurs sont satisfaits ou très satisfaits de leur emploi

96 % des ingénieurs sont cadres et 94 % d'entre eux sont titulaires d'un CDI. Certaines données restent constantes par rapport aux années précédentes. C'est le cas du faible taux de chômage – 3,9 % – par rapport à la moyenne nationale. En outre, les recrutements s'effectuent sans grandes difficultés. À noter que 56 % des ingénieurs travaillent 45 heures ou plus par semaine.

## Salaire médian de 56 000 euros

Le salaire brut médian se situe à 56 000 euros. Les rémunérations présentent un large éventail reflétant la diversité des responsabilités exercées par les ingénieurs. Mais une inégalité hommes/femmes persiste, le salaire moyen est de 47 100 euros pour les femmes et 59 600 euros chez les hommes. Les rémunérations en euros constants ont baissé de 5 % entre 2008 et 2016 pour les ingénieurs de moins de 50 ans.

## 125 000 ingénieurs (16 %) travaillent à l'étranger

L'étranger attire toujours autant, mais pas plus. Cependant, il n'est plus seulement un passage souhaité dans une carrière, mais un choix assumé de travailler hors de France pour éventuellement l'ensemble de sa vie professionnelle : 35 % n'envisagent pas de rentrer en France. La Suisse demeure la première destination (13 %) suivie par les États-Unis (12 %), l'Allemagne (11 %) et le Royaume-Uni (9 %).

## Des mutations sectorielles

Le nombre d'ingénieurs de l'industrie baisse cette année alors que celui du secteur « conseil, logiciel et services informatiques » croît de façon significative. L'industrie, hors énergie, fournissait 43 % des emplois d'ingénieurs en 2006 mais 37 % en 2016. Cette diminution s'est faite au profit des sociétés du numérique et du conseil. Les jeunes générations de femmes s'orientent vers de nouveaux secteurs liés au monde du vivant.

## Effectifs par secteur d'activité

La répartition des effectifs par grands secteurs d'activités montre que l'industrie arrive encore en tête (295 000). Les sociétés de services et cabinets de conseil (173 550, en hausse) et les

autres activités tertiaires (175 850) sont au coude à coude. Le secteur public (87 400) représente un peu moins de 10 %. Côté répartition géographique, la province héberge les plus gros bataillons (49 %), devant l'Île-de-France (35 %) et l'étranger (16 %).

## Progression de la féminisation par secteur

La part des femmes dans les jeunes générations d'ingénieurs a fortement progressé dans l'agriculture, les industries autres que celles du transport, des machines et de l'armement, l'eau, le gaz, l'électricité ainsi que dans les BTP et les sociétés de services. Le secteur tertiaire hors sociétés de services est le secteur le plus féminin parmi les femmes de 45-64 ans.

## La transformation digitale perçue différemment selon les générations

43 % des ingénieurs estiment que la transformation numérique est une révolution qui va engendrer de profonds changements dans la société. Les principaux secteurs concernés seraient le tertiaire en premier et l'industrie en second, loin devant l'agriculture et l'éducation. L'importance accordée à la transformation numérique varie principalement selon l'âge. Plus de la moitié des plus de 50 ans considèrent qu'il s'agit d'une révolution. À l'opposé, pour près des 2/3 des moins de 40 ans, l'opinion la plus répandue est qu'il s'agit d'une évolution technologique inscrite dans la continuité, au mieux une accélération, et pour quelques-uns elle n'aurait même aucune importance. En outre, 39 % des femmes et 33 % des hommes s'inquiètent des effets induits sur la sécurité des données et les risques liés à la vie privée, loin devant le maintien de l'emploi. La mise en œuvre dans les entreprises est aussi fonction de la taille de celles-ci, les grandes entreprises étant plus armées pour aborder cette transformation.

## Forte progression de la formation professionnelle

La formation professionnelle se développe (44 % en 2016 contre 34 % en 2009), inégalement selon la taille de l'entreprise : 27 % dans les TPE, 34 % dans les PME, 42 % dans les ETI, 51 % dans les GE. Il faut souligner que la part des formations scientifiques et techniques progresse. Les entreprises semblent désormais plus impliquées dans l'organisation des formations. Toutefois, si

l'offre dispose de nouvelles possibilités en matière de mise en œuvre (MOOC...), les formations en 2016 restent effectuées classiquement en présentiel à 75 %.

## Les différences entre ingénieurs et scientifiques

IESF regroupe des scientifiques non diplômés d'une école d'ingénieurs. Cette année et pour la première fois, ils ont été intégrés à cette enquête avec 771 répondants. On note que les scientifiques n'ont

pas les mêmes trajectoires professionnelles que les ingénieurs : ils travaillent moins souvent dans le secteur privé et, plus que les ingénieurs, ils occupent des fonctions d'études, recherche et conception. Le salaire médian des scientifiques est de 45 900 euros avec un très faible écart de rémunération hommes / femmes puisque le salaire médian des hommes est de 46 000 euros et celui des femmes de 45 000 euros.

Pour l'accès à l'enquête complète : [www.iesf.fr](http://www.iesf.fr). ■

## À PROPOS D'INGÉNIEURS ET SCIENTIFIQUES DE FRANCE (IESF)

IESF est la société représentant les Ingénieurs et Scientifiques de France. Reconnue d'utilité publique depuis 1860, IESF fédère au travers de 175 associations d'anciens élèves d'écoles d'ingénieurs, d'associations scientifiques, techniques et professionnelles, une communauté d'un million d'ingénieurs et de 200 000 scientifiques, au titre de leurs diplômes et de leurs fonctions. Le nombre, la diversité, l'éclectisme des différentes composantes constituent une source exceptionnelle d'information et de savoir et permettent de faire entendre la voix de l'ingénieur et du scientifique sur les questions fondamentales que posent aujourd'hui les nouvelles techniques, l'évolution des comportements et des métiers, les nécessaires adaptations à apporter aux formations.

Ils mettent aussi en valeur le rôle important des ingénieurs et des scientifiques dans le développement économique et durable de la France. Présents à Paris et dans toutes les régions, ses spécialistes, organisés en comités par secteur d'activité ou par métier développent tout un ensemble d'actions vers les pouvoirs publics, le corps enseignant, le monde politique, les entreprises et le grand public. Enfin, au sein des organisations internationales, IESF développe la mobilité professionnelle et favorise le plein exercice des métiers, en promouvant la reconnaissance mutuelle des formations et des compétences dans le monde.

## LES DIPLÔMÉS PUBLIENT



JEAN-PAUL AIMETTI, vous présente son nouvel ouvrage *NO DATA, Quelle liberté dans un monde numérique ?* paru en Mai 2017 aux éditions Descartes.

Nous sommes, chaque jour davantage, submergés d'informations de toute nature, harcelés par des promotions intrusives, traqués dans tous nos comportements et, demain, dans nos pensées.

Sans nier les applications vertueuses du big data ou de l'intelligence artificielle dans de nombreux domaines, Jean-Paul Aimetti dresse un tableau alarmant des dérives de la dictature du tout numérique et propose des stratégies individuelles et collectives pour conserver sa liberté de pensée et d'action, face à l'inéluctable mutation en cours.

Avec une remarquable pédagogie, il démystifie également la noria de termes nouveaux qui envahissent les médias et les annonces prometteuses de prestataires, des algorithmes décrits comme quasi magiques au *deep learning*.

La lecture de cet ouvrage est tout aussi utile pour les particuliers que pour les professionnels.

Les individus y trouveront une série de recommandations pour devenir un « internaute libre », résistant aux dangers croissants de l'hyperconnexion ou de la cybercriminalité.

Quant aux professionnels de tous secteurs, ils pourront en tirer des leçons indispensables pour pratiquer une communication responsable tenant compte de l'allergie croissante des particuliers vis-à-vis du harcèlement publicitaire ou du pillage de leurs données privées.



Après avoir dirigé un leader du *datamining* (le Centre français de recherche opérationnelle) et des instituts d'études (BVA puis le groupe Sofres en Europe), Jean-Paul Aimetti, Supélec et docteur en mathématiques appliquées aux sciences humaines, est professeur émérite au Conservatoire national des Arts et Métiers. Il a également fondé un cabinet de coaching de dirigeants, Actencia. Auteur de plusieurs publications, dont *Intelligence marketing* en 2014, il est membre de l'Académie des sciences commerciales.

Ouvrage en vente (15 €) sur : [livre.fnac.com/a10476739/Jean-Paul-Aimetti-No-data](http://livre.fnac.com/a10476739/Jean-Paul-Aimetti-No-data) ou [www.decitre.fr/livres/no-data-9782844463180.html](http://www.decitre.fr/livres/no-data-9782844463180.html) ou [www.amazon.fr/No-Data-Aimetti-Jean-Paul/dp/2844463185](http://www.amazon.fr/No-Data-Aimetti-Jean-Paul/dp/2844463185) ou [www.e-leclerc.com/espace+culturel/produit/no-data,28993375/](http://www.e-leclerc.com/espace+culturel/produit/no-data,28993375/) ou [www.leslibraires.fr/livre/11272990-no-data-aimetti-jean-paul-descartes-et-cie](http://www.leslibraires.fr/livre/11272990-no-data-aimetti-jean-paul-descartes-et-cie)

## LES CENTRALIENS DE LILLE, « ENTREPRENEURS À SUIVRE » D'APRÈS LE MIT

Chaque année, la *MIT Technology Review* identifie et met en valeur les innovateurs de moins de 35 ans « à suivre ». Dans le passé, on y a retrouvé Sergey Brin de Google, Mark Zuckerberg de Facebook ou Max Levchin de Paypal, ce qui donne un petit aperçu des profils sélectionnés, pour le moins prometteurs.

En 2017, quatre Centraliens de Lille ont été sélectionnés dans la liste des innovateurs français de moins de 35 ans, l'un d'eux est aujourd'hui dans la liste des innovateurs européens. Rencontre avec ces deux entreprises de la santé.

### L'exosquelette Atlas, développé par Japet

Antoine Noël (ECLi15) et Damien Bratic (ECLi15), ont créé Japet quelques mois après leur remise de diplôme : en avril 2016. Ils développent Atlas, un outil innovant contre la lombalgie chronique, et sont aujourd'hui dans la liste des 35 finalistes européens du prix Innovators Under 35 de la *MIT Technology Review* (les 35 innovateurs de moins de 35 ans à suivre d'après le MIT).



Les fondateurs de Japet, Damien Bratic (à gauche) et Antoine Noël.

#### Comment l'histoire de Japet a-t-elle commencé ?

Antoine Noël : Damien et moi, nous nous sommes rencontrés en première année, à l'École. Nous étions dans la même équipe projet en G1/G2, un projet robotique, qui nous a passionnés. Cela nous a appris à travailler ensemble. Pendant notre parcours à Centrale, nous avons fait une année de césure. Chacun a passé un an aux USA, une expérience très enrichissante. Damien s'est spécialisé dans la neurostimulation. Quand



Atlas, l'exosquelette connecté.

l'idée de l'exosquelette est venue, nous avons l'intuition qu'il y avait une opportunité, une idée d'avenir, avec les médecins du CHRU de Lille.

#### Vous avez bénéficié de dispositifs particuliers à Lille ...

Oui, nous sommes actuellement incubés à Eurasanté, nous avons aussi été portés par BGE, HEC, HAX (un accélérateur en Chine) et d'autres dispositifs. Étant donné que notre métier est très technique, on se forme énormément au contact des réseaux.

#### Vous avez été remarqués grâce à Atlas, peux-tu nous présenter le concept ?

« Atlas », qui est donc le nom du projet, fait référence à la mythologie. Hercule souffrait d'un mal de dos, et Atlas, en portant le globe, le soulage. C'était cohérent avec notre projet. Japet, qui est le nom de l'entreprise, est aussi celui du père d'Atlas.

Atlas est un exosquelette. En soit, c'est une ceinture, un corset dynamique. L'idée est qu'il porte le poids du haut du corps, ce qui réduit la charge qui s'appuie

sur la colonne vertébrale et soulage le patient. Une partie de l'exosquelette est connectée avec une interface qui propose un programme de rééducation et un suivi interactif, qui complète celui du médecin. Nous avons pu tester ce projet grâce à la patientèle de médecins qui travaillent sur le projet avec nous. Les premiers retours de la cinquantaine de patients qui l'ont testé ont été très positifs.

#### Le but est-il de mettre l'exosquelette en vente libre ?

Pour l'instant, il s'adresse aux centres de soins. Notre souhait est qu'il soit mis en vente, pour permettre par exemple de maintenir des personnes au travail. Beaucoup d'industriels nous ont contactés, pour qu'on leur fasse une démonstration.

#### Vous avez été distingués au MIT. Comment est-ce que cela se passe ?

Vous êtes nommés par des experts, ensuite ils vous contactent pour vérifier que vous parlez bien anglais et vous demandent deux lettres de recommandation. Notre directeur d'accélérateur et un conseiller qui nous a accompagnés

nous ont recommandés dans ce cadre. S'ensuivent un ou deux entretiens de finalisation, et ensuite nous découvrons la liste des sélectionnés !

### Quels sont les projets de la société ?

Notre projet, à court terme, est de mettre le produit sur le marché. Ensuite, partir à la conquête du marché européen, notamment le marché allemand. Notre objectif, en deux ans, est d'atteindre le marché américain.

### Que vous a apporté Centrale, dans votre parcours ?

À Centrale Lille, la vie associative est très forte et développe l'esprit d'entreprendre. Les partenariats, comme avec l'EDHEC, nous ont permis d'élargir notre réseau. La formation y est aussi très diversifiée, nous avons une vision globale sur la gestion de projet et de l'entreprise, qui nous sert aujourd'hui à être plus agiles et à nous adapter rapidement. ■



Antoine est proche du réseau des diplômés, qui l'a soutenu lors de son départ aux États-Unis pour y faire une césure. Il témoigne de l'apport du réseau des diplômés en vidéo, à retrouver au lien suivant : [www.youtube.com/watch?v=h26Qb5CM\\_TQ](http://www.youtube.com/watch?v=h26Qb5CM_TQ)

## Le défibrillateur connecté, développé par Lifeaz

**Timothée Soubise (ECLi11), Johann Kalchman (ECLi11) et Martial Itty ont lancé, en 2015, leur start-up : Lifeaz, un défibrillateur connecté et utilisable à domicile. Les deux premiers se sont rencontrés à Centrale Lille et font équipe avec un spécialiste de logiciels embarqués. Actuellement en plein développement de leur produit phare, les jeunes ingénieurs, distingués au MIT**

**dans la liste des innovateurs français de moins de 30 ans, ont de nombreux projets en tête.**



Les co-fondateurs, *Timothée Soubise (ECLi 2011) à gauche, Johann Kalchman (ECLi 2011) au milieu et Martial Itty (CTO) à droite.*

### Quelle est l'histoire de Lifeaz ?

Johann Kalchman : Nous sommes trois cofondateurs à la base de Lifeaz : Timothée Soubise, Martial Itty et moi-même. Notre mission, chez Lifeaz, est de sauver des vies ! Il faut savoir que, chaque année, 80 000 personnes meurent d'une crise cardiaque en Europe. Seulement 15 % y survivent. Le problème est que le temps moyen d'intervention, en ville, est de 10 minutes, alors que le

cile, qui est connecté et géo-localisé. Il fonctionne quotidiennement, un peu comme une box Internet. Le deuxième est la création d'une plateforme d'initiation aux gestes qui sauvent, que nous mettons en place avec les pompiers de Paris. La mission des deux est de donner les moyens aux gens de sauver des vies.

Le défibrillateur est encore en développement actuellement. Le but est qu'il soit entièrement automatique. Ce qui implique d'aller plus loin dans les algorithmes, par rapport aux produits déjà existants. Le défibrillateur classique existe depuis 30 ans et il est déjà semi-automatique. Ce que l'on essaye de faire est de simplifier son utilisation au maximum, pour que chacun puisse l'utiliser sans risque. Pour cela, nous travaillons directement avec le corps médical.

### Comment se présente-t-il ?

C'est un petit boîtier, dont la forme fait penser, comme son fonctionnement, à une box Internet. Il y a un bouton dessus, avec une voix qui vous guide. Des électrodes y sont liées et le produit analyse seul si la personne branchée est simplement victime d'un malaise ou d'une crise cardiaque.



Le boîtier Lifeaz, une contraction de *life* (la vie) et de *eaz* (tranquilliser, simplifier).

délai pour sauver une vie est de quatre minutes seulement. 80 % des arrêts se produisent sur le lieu de travail ou à domicile, c'est là que nous souhaitons apporter une solution.

### Quelle est la solution proposée par Lifeaz ?

Nous avons deux projets, chez Lifeaz. Le premier est le défibrillateur à domi-

À terme, le défibrillateur sera proposé avec un modèle d'abonnement. Ce qui fait que cela ne représentera pas un très gros investissement pour les usagers. Nous le mettrons à jour régulièrement et, s'il y a un défaut, nous serons immédiatement alertés. Cela ne sera pas comme le matériel actuellement installé dans les hôpitaux ou les entreprises, qui est contrôlé plus rarement.

### ***Vous avez été distingués au MIT : comment avez-vous réagi ?***

C'était une vraie surprise ! Pour être distingué au MIT, on peut candidater, ou être nommé par quelqu'un. C'est le deuxième cas de figure pour nous. Vous montez ensuite un dossier et passez des entretiens, au terme desquels une décision est prise... Dans notre cas c'était vraiment une excellente surprise.

### ***Comment se compose l'équipe de Lifeaz ?***

La société est installée à Paris dans le 13<sup>ème</sup> arrondissement, en incubation aux Arts et Métiers. Nous sommes aujourd'hui 10 personnes dans l'équipe.

La plupart sont ingénieurs, et spécialisés dans des domaines, comme responsable qualité, par exemple. Nous avons des employés et des stagiaires.

Concernant le noyau dur, Timothée est COO (Chief Operating Officer, directeur de l'exploitation). Nous nous sommes rencontrés à Centrale Lille, dès le week-end d'intégration. Nous sommes de la même promotion. Martial est un ancien collègue, qui nous a suivis dans l'aventure. Il travaille plus sur l'aspect technique (CTO, Chief Technology Officer, directeur de la technologie), alors que mon rôle se rapproche plus de celui de Timothée, celui du CEO (Chief Executive Officer, dirigeant

d'une entreprise). On développe tout en interne. C'est une de nos forces, et nous la devons entre autre à notre formation pluridisciplinaire.

### ***Quels sont vos projets ?***

Pour l'instant, nous pensons au lancement de la plateforme, qui est aujourd'hui en test et sera, une fois en ligne, totalement gratuite. Nous travaillons aussi sur la sortie du défibrillateur, dont l'essentiel est fait. Nous visons une deuxième levée de fonds, et sommes en train de calculer son modèle économique. Pour le long terme, nous souhaitons développer d'autres produits innovants. ■

## SUCCÈS ET POURSUITE POUR LE MENTORAT DE CENTRALE LILLE ALUMNI

La saison 1 2016-2017 du mentorat de Centrale Lille Alumni s'est terminée début juillet 2017 autour d'afterworks « spécial mentorat » à Lille et à Paris.

Cette année, grâce à l'engagement de 60 mentors diplômés et volontaires, 62 étudiants de dernière et avant-dernière année d'étude ont été accompagnés personnellement dans l'évolution de leurs souhaits professionnels.

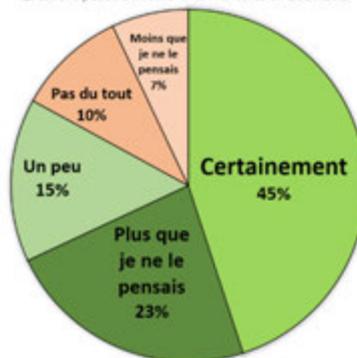
Un questionnaire de fin d'année a été administré et nous pouvons annoncer un taux de satisfaction de plus de 70 % de la part des binômes ; les commentaires de chacun sont très encourageants et amènent aussi des réflexions sur l'évolution à donner au mentorat de Centrale Lille Alumni.

### **Lancement du mentorat 2017-2018**

La plupart des mentors et des étudiants de la saison passée souhaitent continuer leur volontariat et de nouveaux mentors volontaires offrent un potentiel plus grand encore pour cette « saison 2 ».

À l'heure où nous écrivons ces lignes, les binômes sont en train d'être formés

"Le mentorat vous a-t-il été utile ?"  
Questions posées aux étudiants mentorés en 2016-2017



pour accompagner les étudiants des formations de Centrale Lille pour cette année 2017-2018.

La nouveauté de cette année est d'élargir l'offre aux néo-diplômés ; c'est-à-dire aux diplômés de la promotion 2017 afin de les accompagner dans leur première prise de poste et dans les différents questionnements qui les attendent.

### ***Parole aux étudiants...***

« Très bonne initiative que ce mentorat ! À poursuivre pour développer le réseau » ; « Très intéressant, merci beaucoup pour l'opportunité ! » ; « Très bonne initiative qui renforce le réseau centralien » ;

« J'ai beaucoup apprécié le principe du mentorat ! C'est une excellente initiative permettant de mettre en perspective, une carrière et les choix professionnels. » ; « Un grand merci à mon mentor qui m'a permis de prendre du recul sur mes choix de carrière et qui a su m'ouvrir son réseau pour la recherche de stage. Expérience très positive ! »

### ***...et aux diplômés mentors***

« Je pense qu'il y a un atout incroyable à ce mentorat. Pour ma part aussi c'est très enrichissant de côtoyer des jeunes, pour renouveler un peu mon esprit » ; « Le mentorat est très intéressant pour les deux parties ! » ; « Très bon format et très bon moyen de faire vivre le réseau après l'École. » ; « L'initiative du mentorat est excellente et doit être poursuivie. » ; « De mon côté, la mentorée et moi nous entendons bien et nos formations / appétences professionnelles se complètent. Je continuerai de l'accompagner et je me porte également disponible pour un(e) nouvel(le) étudiant(e). »

Merci et bravo à toutes celles et ceux qui ont participé et participeront aux actions de l'association ! ■

## LES ÉLÈVES INNOVENT

### GreenBox MaRP

GreenBox la Machine à Recycler Pédagogique est un projet innovant né de l'initiative de Tanguy Dejeau (promotion 2019). Alors que seulement 20 % du plastique est recyclé aujourd'hui en France, ce projet a pour but de sensibiliser les enfants et les adultes au recyclage du plastique.

Le projet s'articule autour d'un atelier composé de plusieurs activités dont la principale est une machine, la GreenBox. Cette machine possède un fonctionnement ludique qui nécessite la participation de ceux qui assistent à l'atelier. Ces derniers vont tout d'abord introduire dans une ouverture de la machine du plastique qu'ils jettent quotidiennement, comme une bouteille. Ce plastique va être broyé sous leurs yeux, puis les participants récupéreront les copeaux pour les placer dans une autre ouverture. Là, le plastique sera fondu puis moulé afin de finalement ressortir, recyclé, sous une autre forme : une petite toupie, que les participants pourront



garder en souvenir de l'atelier.

Pour construire les différentes parties de la machine, nous nous sommes inspirés de projets en *open source*, comme Precious Plastic de Dave Hakkens, afin de construire une broyeuse et une machine à injection.

En parallèle de la partie « mécanique », l'aspect pédagogique du projet est une part majeure qui sera mise en valeur à travers de nombreux contenus (fiches pédagogiques, vidéos, quiz, jeux, découverte 3D de la machine...) disponibles sur un site Internet.

En plus de l'organisation pédagogique et de la mise en place des activités, ce projet



nécessite un important travail d'analyse de la valeur afin d'adapter l'existant au besoin réel du projet (dimensionnement et sécurisation des machines notamment).

En septembre 2017, un partenariat avec l'école privée Sainte-Thérèse de Lille a été signé, permettant aux élèves des classes de CM1 et CM2 de prendre part au projet et de le concrétiser. Grâce à ce projet, ces enfants auront également la possibilité de découvrir le FabLab de l'École Centrale de Lille et ainsi avoir un aperçu du milieu ingénieur en parallèle de leur sensibilisation au recyclage. ■

## LE PRIX CENTRALE LILLE ALUMNI 2017 DU PROJET ÉTUDIANT LE PLUS INNOVANT

Cette bourse de 1 000 euros remise chaque année par l'Association à un projet étudiant de l'École Centrale de Lille permet aux étudiants de pouvoir réaliser des prototypes, tester des matériaux différents ou encore accéder à des outils plus performants.



### Keep'n'Eat, le lyophilisateur domestique

Et si l'on pouvait conserver nos aliments sans altérer ni leur goût, ni leurs qualités nutritives pendant des dizaines d'années ?

Le projet vise à concevoir et fabriquer un prototype d'appareil, de prix et de taille comparables à un réfrigérateur (1x1m), capable de lyophiliser des aliments.

La lyophilisation est un procédé en deux étapes : congélation de l'aliment puis sublimation de la glace qu'il contient. L'aliment, non chauffé par le procédé, conserve son goût et ses

nutriments. Dépourvu d'eau, il peut se conserver plusieurs années. La lyophilisation est utilisée dans l'industrie mais pas encore exploitée pour les particuliers car trop coûteuse.

### Un dispositif innovant au croisement de multiples disciplines

Pour limiter les coûts, l'équipe a choisi d'opérer à pression atmosphérique, et a découvert un dispositif pour obtenir de l'air froid : LE TUBE VORTEX. La

circulation d'air comprimé dans le tube vortex permet d'avoir en sortie de l'air chaud d'un côté, et de l'air froid de l'autre. L'air froid circule dans la chambre de séchage, capte l'humidité de l'aliment, traverse un filtre asséchant avant d'entrer à nouveau dans le compresseur. Le processus s'effectue en deux étapes dans la chambre de séchage: surgélation (-40 °C), puis sublimation (-5 °C).

Plus d'informations sur leur site : [keepneat.wordpress.com](http://keepneat.wordpress.com). ■

Il y a eu cette année 284 votants, une participation en nette augmentation (196 votes en 2016), en particulier des diplômés (173 votes). Le résultat est le suivant :

- 1<sup>er</sup> (avec 37 % des voix) : Keep'nEat
- 2<sup>ème</sup> (avec 20% des voix) : Centrale Lille Voltage
- 3<sup>ème</sup> (avec 18 % des voix) : TechShel'Terre
- 4<sup>ème</sup> (avec 14 % des voix) : PimpMyPomp2
- 5<sup>ème</sup> (avec 11 % des voix) : CentraleLillePropulsion

Le détail de toutes les participations est à retrouver sur le site Internet de l'Association.

## LES NOUVELLES DES ÉTUDIANTS

En cette période de rentrée qui voit accueillir quelques centaines de nouveaux étudiants dans les formations de Centrale Lille, nous avons souhaité donner la parole aux Bureaux des Étudiants des trois formations de Centrale Lille. Véritables organes de communication, d'organisation et d'entraide, les BDE sont aussi créateurs de liens et participent activement au lien entre étudiants et diplômés de l'IG2I, de l'ITEEM et de l'École Centrale de Lille.

### Aloha, le bureau des étudiants ITEEMiens

#### • Quels sont les projets du BDI cette année ?

Aloha, le bureau des Iteemiens (BDI) pour l'année 2017-2018, est l'association qui assure l'animation de la vie étudiante de l'Iteem à travers de multiples événements. Cette année, le BDI organisera un voyage au ski, plusieurs week-ends dans des villes d'Europe, des activités et repas inter-promos pour souder les promotions Iteemiennes. Le BDI s'occupe également de la soirée de remise des diplômes qui est un événement majeur pour une promotion.

Le BDI assure aussi le lien entre les élèves et les entreprises en organisant des afterworks et des conférences. Le BDI se veut proche de l'administration, pour permettre de faire évoluer la formation et de leur donner les retours et impressions des étudiants.



#### • Qui organise, et comment se déroule l'intégration des premières années ?

L'arrivée des nouveaux élèves de l'ITEEM a été organisée cette année par un groupe d'étudiants de deuxième année motivés et désireux de les intégrer directement dans l'École par des activités, des repas entre les différentes promotions et des événements leur permettant de découvrir le campus et la ville de Lille.

#### • Quel lien voyez-vous entre les diplômés et les étudiants de l'ITEEM ?

Le BDI doit permettre de garder le lien entre les étudiants et les diplômés de l'ITEEM. Cette relation ne peut être

qu'enrichissante pour les étudiants, c'est pourquoi le BDI organisera cette année plusieurs rencontres afin d'avoir des témoignages sur leurs expériences, leurs stages, leur arrivée dans la vie professionnelle...

Claudie Chevalier (IE20) ■  
pour le BDI

### MachiaveLille le BDE de l'École Centrale

#### • Quel est le rôle du BDE à l'école ?

Le BDE (24 étudiants) s'occupe de la vie générale des étudiants au sein de l'École. Il organise l'intégration des nouveaux, ainsi que divers événements au long de l'année (soirées, sorties, voyage...). Il s'occupe de faire le lien entre l'administration et les étudiants : diffusion d'informations, réponses aux interrogations des élèves sur la scolarité... Il fait également le lien entre l'association des diplômés et les étudiants actuels : diffusion des informations, rencontre avec les diplômés, et participation à des événements (Amphis, WER...)

#### • Comment se passe l'intégration des nouveaux G1 ?

Avant la rentrée, des parrains sont attribués aux nouveaux arrivants. Ceux-ci les accompagnent le premier jour de la rentrée, ainsi que tout au long de l'année pour répondre à leurs questions... Durant le premier mois, afin qu'ils apprennent à se connaître, qu'ils découvrent la richesse du monde associatif, les sports qui leur sont ouverts,



leur nouvelle école et de manière plus générale, leur nouvel environnement, de nombreux événements sont organisés : sorties découverte de Lille, week-end d'intégration, soirées à thèmes, concours et défis entre maisons, soirées et amphi de présentation d'associations, de sports, parcours de présentation de l'École...

#### • Quelle est la vision du BDE des liens qui unissent les diplômés et les élèves ?

Nous espérons que le mentorat se maintiendra et se développera afin de renforcer les liens qui unissent diplômés et étudiants. Nous espérons également que les participants aux événements permettant leur rencontre seront nombreux.

#### • Sur quel point aimeriez développer les relations entre diplômés et étudiants ?

Beaucoup d'étudiants souhaiteraient obtenir davantage d'offres de stage des diplômés.

Cindy Trinh (ECLi18) ■  
pour le BDE

Le BDE de l'IG2I organise l'intégration et de nombreux événements tout au long de l'année. Le programme de 2017-2018 est riche d'événements et de surprises.

La JDN (*Just diplomed night*) est ainsi organisée le 18 novembre 2017, à la suite de la remise de diplômes. En particulier, le BDE va organiser un voyage à l'occasion de la Saint Patrick, et un autre à Amsterdam ! Pour le reste, le BDE fait le lien entre les étudiants, l'administration, et le réseau des diplômés.

Kevin Moutet (Li21) ■

## LES NOUVELLES DE CENTRALE LILLE

### Réforme de la formation École Centrale de Lille : les élèves sont dans les #StartingBlocks !

En septembre 2017, les élèves de la formation École Centrale de Lille ont débuté le nouveau programme conçu et préparé par le corps enseignant dans le cadre de la réforme du cursus de l'École Centrale.

Dès son arrivée, la nouvelle promotion a commencé par deux semaines dont l'objectif était de rompre avec les attitudes des classes prépa et de permettre aux élèves de découvrir le métier d'ingénieur, de donner plus de sens à leur formation, de créer un esprit de promo et de mieux connaître l'école et son environnement.

#### • Retour sur les temps forts de ces deux semaines

**La journée Meccano :** esprit d'équipe, réflexion et découverte étaient au rendez-vous, pour cette activité ludique, mais surtout technique et humaine ! L'objectif ? Réaliser un prototype en Meccano capable de transporter des objets (une brique, une balle et une flûte à champagne) sur une piste de 10 m de long et de 1,5 m de large. Après avoir reçu des outils, plaques, écrous..., les étudiants, par groupe de huit à neuf personnes, se sont vus attribuer un budget pour mener à bien leur mission. « *C'était la première fois que je travaillais avec un groupe aussi large. Mais au final, c'était une expérience très sympa !* » raconte Clément.

Sola, quant à elle, explique que dans son groupe « *chacun a rapidement pris ses marques et les rôles au sein du groupe se sont répartis naturellement : design, roues, moteur, châssis...* ». Après l'assemblage du prototype, la journée s'est

achevée par l'ultime challenge : le test chronométré. Sur les trente-deux équipes, la quasi-totalité des équipes a réussi à parcourir la distance avec les trois objets !

**Les journées suivantes étaient sur les thèmes de la recherche, l'innovation et les métiers d'ingénieurs avec des défis à relever !** L'objectif de la journée recherche était de faire

ner les intervenants sur les débouchés possibles après une formation par la recherche, ainsi que sur les évolutions possibles. « *Nous travaillons sur des projets dont les résultats seront notre quotidien dans quinze ans. Les solutions allient approches fondamentales et appliquées et résultent d'un effort commun entre laboratoires et entreprises* » explique Philippe Pernod, directeur de la recherche, valorisation, innovation de Centrale Lille.

Les activités proposées ont permis aux élèves de simuler le montage d'un projet de recherche avec l'aide d'enseignants-chercheurs ainsi que d'extérieurs de notre écosystème régional (pôles de compétitivité, incubateurs, SATT, etc.). Les équipes se sont vues attribuer un enjeu sociétal pour lequel elles devaient proposer un projet impliquant un ou plusieurs laboratoires de Centrale Lille, et des partenaires externes, dont au moins une entreprise. Objectif : proposer en trois heures de travail collaboratif un projet qui répond à la problématique, et le « pitcher » devant le reste de l'amphi, avec des évaluateurs utilisant des grilles de notation inspirées de celles des projets européens. Objectif scientifique, verrous, analyse des risques, formation du consortium, durée, budget, indicateurs de réussite et impact, tous les aspects d'un projet recherche ont été pris en compte.

D'un point de vue innovation, les PME présentes se sont vues présenter, par les élèves, des

innovations pouvant impacter leur entreprise. Ces journées ont permis aux élèves d'appréhender le monde des PME/PMI, et de découvrir la diversité des métiers et secteurs d'activités de nos entreprises partenaires.



Moment de vérité pour un prototype lors de la journée Meccano © Centrale Lille.

découvrir aux élèves en quoi consiste la recherche, celle de Centrale Lille en particulier, son lien étroit avec la formation d'ingénieur, l'écosystème et les entreprises. La table ronde proposée le matin a permis aux élèves de question-



Résultat d'un travail d'équipe ! © Centrale Lille.

### • L'interculturalité pour faire connaissance

La deuxième semaine des #Sarting-Blocks a débuté avec une demi-journée uniquement en anglais (« French prohibited! »), l'objectif était avant tout d'apprendre à faire connaissance. L'interculturalité a été lancée par une vidéo préparée par les intervenants où chacun d'eux a donné une consigne dans une langue étrangère (anglais, espagnol, portugais, allemand, russe, arabe et hindi). Dans la bonne humeur, tout le monde a joué le jeu, et certains ont chanté l'hymne de leur pays dans leur langue maternelle.

Ensuite, les élèves se sont répartis par groupe et ont dû imaginer ou inventer un pays idéal, avec un nom, un drapeau, une zone géographique, une langue, des coutumes, une histoire, un hymne national, créer un gouvernement et déterminer les énergies et ressources dont ce pays disposerait... Le but étant de créer un poster et de le présenter aux autres groupes. Les élèves ont tous mis en avant un pays où les valeurs de tolérance et respect sont primordiales.

### • Comment définir un ingénieur ?

La suite de la journée a été consacrée à l'analyse réflexive avec l'objectif de faire un retour sur la première semaine d'intégration : découverte de l'École,

du métier d'ingénieur, des entreprises partenaires, de l'expérience du travail... Cette réflexion devait mener les élèves à définir les fondements de leur futur métier, décrire les qualités que doit posséder un ingénieur et les domaines dans lesquels il est amené à intervenir.

Les élèves ont présenté leur analyse par groupe face à des diplômés de l'École Centrale de Lille, contactés par l'Association, qui ont pu leur faire un retour d'expérience. Les principales notions abordées et citées par les élèves sont la

flexibilité, l'organisation, la créativité, l'adaptabilité et la communication.

La période de rupture semble porter ses fruits puisqu'après deux semaines, les élèves ont tous fait part de leur enthousiasme, au même titre que les enseignants.

Ce nouveau programme de formation se poursuit par une période de six semaines appelées #Start&Go. Véritable travail collectif, des équipes de quatre élèves travailleront sur des sujets multidisciplinaires autour de cinq thématiques : environnement, éolienne, métallophone, robotique et data. ■

## La nouvelle politique scientifique de Centrale Lille

Déployée en septembre 2017, la nouvelle politique scientifique de Centrale Lille sert trois grands objectifs : affirmer l'excellence scientifique de l'établissement dans le domaine des hautes technologies, renforcer l'interdisciplinarité au sein des équipes de recherche et multiplier les passerelles avec la formation.

L'établissement, qui consacre actuellement la moitié de son budget à la recherche, va miser davantage sur les spécificités et forces des enseignants-chercheurs et des laboratoires pour relever les défis auxquels font actuellement face les écoles d'ingénieurs, et plus



Échanges lors de l'interculturalité © Centrale Lille.

globalement l'enseignement supérieur français.

« *La recherche de Centrale Lille traite des six enjeux scientifiques, technologiques et sociétaux qui sont au cœur du programme de l'Agence nationale de la recherche de la région des Hauts-de-France : changement climatique, société de l'information, transports intelligents et verts, systèmes urbains durables, énergies propres et santé. Les objectifs, axes de recherche et priorités stratégiques qui viennent d'être formalisés lui donnent la capacité de développer sa recherche dans un continuum allant de la recherche fondamentale à la recherche appliquée et à l'innovation, tout en servant les enjeux du monde socio-économique avec lequel nous interagissons en permanence* », explique Philippe Pernod.

Comme la majorité des écoles d'ingénieurs françaises, Centrale Lille est confrontée à deux défis :

- l'établissement a besoin de renforcer sa visibilité, lisibilité et attractivité pour jouer à armes égales avec ses compétiteurs français et internationaux. Pour attirer les meilleurs chercheurs, enseignants et étudiants sur ses campus, il va renforcer davantage encore son excellence scientifique et valoriser ses domaines-clés de recherche ;

- en parallèle, Centrale Lille doit former encore plus d'ingénieurs – et notamment d'ingénieurs-docteurs – pour répondre aux besoins des entreprises. En plus de disposer de fondamentaux solides (maths, physique, sciences pour l'ingénieur, etc.) et maîtriser les compétences requises par les métiers nés de la révolution numérique (code, réseaux, analyse de données, machine learning, calcul haute performance, cybersécurité, etc.), ces ingénieurs-docteurs centraliens auront la capacité de comprendre la complexité croissante des entreprises et des outils et méthodes utilisés par les équipes.

Pour renforcer en continu l'excellence scientifique de l'établissement, Centrale Lille cultivera ses spécificités en veillant à accompagner les deux volets du projet

d'I-SITE Université Lille Nord-Europe (Sustain & Expand) sur ses trois hubs (santé, planète et digital). Elle mettra entre autres l'accent sur quatre domaines les plus différenciants dans lesquels elle est déjà internationalement reconnue :

- les procédés innovants de biocatalyse dédiés à la valorisation de la biomasse ;
- l'élaboration de nouveaux matériaux et capteurs pour la production et la consommation d'énergie : la sûreté des enceintes des centrales nucléaires ou encore la diminution des émissions polluantes des véhicules ;



- la modélisation du comportement de tissus biologiques mous ;

- ou encore la conception de dispositifs médicaux connectés et intelligents, de composants ultra-basse consommation et neuro-inspirés (synapses artificielles) et de convertisseurs électroniques pour *smartgrids* propres et économes en énergie.

La politique scientifique de l'établissement prévoit par ailleurs de développer l'interdisciplinarité entre les équipes de recherche, en cohérence avec le profil d'« ingénieur intégrateur ». Les travaux de recherche au croisement de plusieurs disciplines seront particulièrement encouragés et soutenus, comme certaines démarches déjà initiées :

- la bio-ingénierie pour traiter de la mécanique du système pelvien, l'élaboration de nouveaux concepts de théranostique ultrasonore intégrant imagerie et thérapie médicales, le traitement des signaux ophtalmologiques, l'élaboration de robots déformables pour la chirurgie,

ou encore l'optimisation des flux logistiques pour l'hôpital ;

- la mise au point de matériaux biosourcés grâce à la combinaison de compétences en synthèse de monomères obtenus par voie catalytique à partir d'intermédiaires chimiques issus de la biomasse et en caractérisation fine des propriétés des polymères.

La politique scientifique développée à compter de 2017 entend multiplier les passerelles entre formation et recherche au sein de l'école. Plusieurs initiatives

ont déjà été lancées pour favoriser la poursuite en thèse des élèves centraliens. Parmi elles, le « Track Recherche » (accessible en 3<sup>ème</sup> année) du cursus centralien pour inciter un nombre plus grand d'étudiants à poursuivre en thèse en leur donnant la possibilité de commencer leurs travaux de recherche avant la fin de leur cycle ingénieur.

Le nouveau cursus de la formation École Centrale de Lille favorise également la découverte de la recherche dès la semaine d'intégration et a mis en place des modules électifs et projets qui s'appuient fortement sur les infrastructures des laboratoires.

« *La recherche est au cœur de nos priorités. Elle innove et nourrit l'ensemble des actions de l'École, celles mises en place à destination des élèves ingénieurs comme celles lancées à l'attention de nos partenaires académiques, des institutionnels et des entreprises. Avec cette nouvelle politique scientifique, nous réaffirmons notre engagement à jouer un rôle actif pour faire rayonner l'enseignement supérieur français tout en apportant notre contribution aux enjeux de croissance des acteurs économiques* », conclut Emmanuel Duflos, directeur. ■

#### LES CHIFFRES DE LA RENTRÉE

268 élèves en première année à l'École Centrale de Lille.

62 élèves en première année à l'ITEEM.

67 élèves en première année à l'IG2I.

# LA VIE DES GROUPES

*Internationaux et régionaux.*

## PAYS-BAS

### Visite d'Eindhoven

Le groupe CACS des Pays-Bas, dont l'équipe de volontaires s'est renforcée récemment puisque Marion Cosse (ECLi11), Lucien Mathieu (ECLi13) et Coraline Bucquet (ECLi12) ont rejoint Paul Schwander (Supélec85) et Alexandre Veremme (IG2I07) pour l'animer, a commencé ses activités inter-Centrale Supélec avec une visite d'Eindhoven, organisée par les Supélec le samedi 20 mai dernier.



Cette sortie fut éclectique en écoles (Supélec, Centrale Lille et Lyon) et en âges (du stagiaire à un peu plus âgé !).

La visite de la distillerie artisanale nous a permis de réviser notre chimie et thermodynamique.

On remettra cela vers l'automne en élargissant à nouveau l'invitation à toutes les écoles Centrale et Supélec. Cette dernière rencontre a démontré l'opportunité d'un tel élargissement.

Un grand merci à Frédéric qui a organisé la sortie.

**Étaient présents :** Aurèle Adam (Supélec00), Kevin Colin (ECLi14), Frédéric Guillauneuf (Supélec88), Caroline Hamrit (Supélec98), Matthieu Rosello Garcia (ECLi02), Paul Schwander (Supélec85), Simon Trin (Supélec06).

**Paul Schwander (Supélec85)** ■

## ALLEMAGNE

### Retour sur les RICA 2017

Après une première édition des « rencontres inter-Centrale en Allemagne » (RICA) en 2016 à Berlin initiée par Alexandre Person (ECM15), cette deuxième rencontre annuelle de tous



les centraliens et supélec en Allemagne fut exceptionnelle avec une cinquantaine de participants sur 3 jours, du 23 au 25 juin, dans la superbe ville de Munich.

Ce long week-end a débuté tout naturellement par un déjeuner dans un *Biergarten*, et pas n'importe lequel puisqu'il s'agissait de la *Chinesischer Turm*, un des plus grands avec sept mille places, des plus traditionnels avec son orchestre bavarois et des plus beaux avec sa tour chinoise en bois.

Sous un beau soleil qui nous a accompagnés pendant (presque) toute la durée de la RICA, nous étions une dizaine à commencer notre voyage gastronomique des spécialités bavaroises (des saucisses en tout genre, des *Käsespätzle*, ces pâtes au fromage, l'*Obazda*, du camembert au paprika, et bien sûr la *Helles*, cette bière blonde locale), à l'ombre de la tour et au son des airs bavarois.

Puis nous étions une vingtaine à visiter la brasserie *Spaten* pour y découvrir tous les secrets de la fabrication du savoureux breuvage, qui, nous l'apprit notre excellent guide, ne comprend que quatre ingrédients : eau, malt, houblon et levure. La visite s'achevait au sommet de la tour de l'usine par une dégustation bien méritée avec une vue formidable sur Munich.

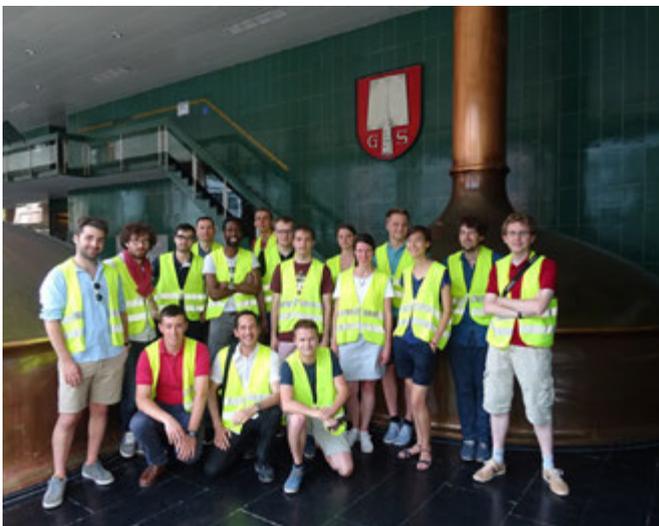
Enfin, cette première journée se terminait chez *Franziskaner*, une des plus vieilles brasseries bavaroises du centre-ville, dans un salon privé aux couleurs de la Bavière (bleu et blanc). Là, une quarantaine de participants purent assister à deux présentations professionnelles passionnantes sur la transition énergétique par Volkmar Berg (ECL97) puis sur le Big Data chez ProSieben par Karim Jedda (ECLi13).

La deuxième journée commençait par plusieurs visites culturelles en parallèle selon les goûts de chacun : une dizaine d'entre nous préférèrent la balade gastronomique de Schwabing, cet ancien quartier artistique et bohème où vécurent entre



autres Paul Klee et Kandinsky, passant d'une dégustation de *Weißwurst* (la célèbre saucisse bavaroise) à celle de glaces italiennes (Monaco di Bavaria n'est-elle pas la ville la plus septentrionale d'Italie ?).

Pendant ce temps, une dizaine d'autres participants parcouraient la ville en vélo, en particulier à travers le Jardin Anglais, un des plus grands parcs urbains du monde avec ses fameux surfeurs et sa zone naturiste FKK, guidés par Augustin Jacquelin (ECL18). Enfin ils étaient trois à découvrir les superbes photos de mode de Peter Lindbergh à la Kunsthalle.



L'après-midi certains se baignèrent dans les lacs autour de Munich tandis que d'autres visitèrent les splendides châteaux des rois de Bavière.

La deuxième journée se terminait dans un bar à tapas pour une trentaine d'entre nous autour de bonnes sangrias, où nous eûmes l'agréable surprise de la participation d'André Huon, le président des groupes internationaux de Supélec.

Ce long week-end de trois jours s'achevait le dimanche par un brunch au restaurant *La Bohème* à la décoration new-yorkaise, et une visite guidée à pied du centre-ville, sur les traces de la montée du national-socialisme qui a malheureusement ses origines ici, grâce aux explications très riches et intéressantes d'Augustin Jacquelin (ECL18), d'Élise Lebossé (ECN15) et de Sébastien Pyrolley (ECL15).

Voilà un bref résumé de cette deuxième RICA qui a assurément contribué à renforcer encore plus notre réseau Centrale-Supélec outre-Rhin, dont les maîtres mots sont solidarité et convivialité.

Nous vous informons d'ailleurs que rendez-vous est déjà pris pour la prochaine édition en 2018 à Francfort / Darmstadt qui sera rebaptisée RICSА (rencontres inter-Centrale-Supélec en Allemagne) et à laquelle nous vous attendons encore plus nombreux.

Nous terminerons le compte-rendu de cette RICA 2017 en remerciant encore bien sincèrement tous les participants et encore plus tous les organisateurs, guides et présentateurs qui ont tous contribué au succès de cette rencontre, et enfin nous adressons un remerciement spécial à l'attention de toutes les Associations qui nous ont généreusement soutenus financièrement.

Centraliennement vôtre,

**Emmanuel Armengaud** (ECLi94)  
pour l'équipe organisatrice ■

## ÎLE-DE-FRANCE

### Soirée « conviviale » inter-Centrale de rentrée

Le 4 octobre, une petite quarantaine de centraliens de tous horizons, à l'exception de Paris (non faute d'avoir été invité), se sont réunis à la brasserie *Le Cardinal*, dans le quartier Opéra, à Paris.

Les présidents des associations lilloise (Roland Marcoin) et nantaise (Gilles-Emmanuel Bernard) nous avaient fait l'amitié de leur présence.

Organisée par Lille, pour le compte de l'intergroupe, cette conviviale fut l'occasion d'une belle soirée de réseautage, durant laquelle ont été rappelées les offres d'activités des différentes associations (en grande partie ouvertes à l'intergroupe).

Les groupes professionnels Centrale Supélec Automobiles,

Centrale Énergies, Centrale Tech et Centraliens Entrepreneurs ont également eu l'occasion de présenter leur offre d'activités. Une superbe soirée, à tous points de vue !

David Mengolo (06) ■



## NORD

### Coordination Nord-Est

La réunion du 27 septembre a permis de préciser le programme de notre groupe pour la fin de l'année.

- Mercredi 25 octobre 2017 : pot Centraliens-Supélec, à Metz, brasserie *ABC* en face de la gare, pour les ingénieurs et des élèves issus de la région.

- Samedi 28 octobre 2017 : AG de la coordination Est, à Saverne, à partir de 10 h.

- Vendredi 1<sup>er</sup> décembre 2017 : repas de saint Éloi, organisé par Patrice Berthod, à *La Table du bon roi Stanislas* à Nancy, à 20 h (le lieu reste à confirmer).

Une visite de l'usine British Steel à Hayange est envisagée au cours du mois de novembre.

Pour l'année 2018, deux idées ont été évoquées : visite des usines PSA moteurs à Trémery, et Arcelor à Florange.

Nous espérons vous voir nombreux à ces événements.

Robert Loboda (76) ■



### NOUVEAU RECRUTEMENT À L'ASSOCIATION

Émilie Rocher a rejoint notre équipe !

Elle a été embauchée à temps partiel, le 3 avril 2017 après une période d'essai d'un mois.

Émilie a 21 ans, elle est titulaire d'un baccalauréat et a fait une première année de BTS assistante manager. Elle vient renforcer l'équipe de l'Association sur la partie administrative et travaille particulièrement sur la mise à jour de la base membres ; elle est garante de

l'enregistrement et du contrôle des coordonnées des diplômés sur leur fiche profil du site.

Elle recherche quotidiennement les perdus de vue, les NPAI (n'habite plus à l'adresse indiquée) et les diplômés par tous moyens (réseaux sociaux, particulièrement LinkedIn, annuaire, phoning, mails...).

Vous le savez, la qualité du fichier est primordiale pour les échanges avec le réseau, toutes les informations doivent être remontées au niveau de l'Association pour profiter à l'ensemble des membres et garantir la qualité de notre annuaire. Nous comptons sur vous pour maintenir à jour votre fiche diplômé via le site, ou en contactant Émilie !

Les coordonnées d'Émilie sont les suivantes :

[emilie.rocher@centraliens-lille.org](mailto:emilie.rocher@centraliens-lille.org)

03 20 51 57 56



### LEADERSHIP ET DIRECTION D'ORCHESTRE

**Envie de former vos équipes au leadership ?  
Soyez innovants !**

**Pourquoi ne pas participer à un atelier organisé par Marc Hajjar (06), chef d'orchestre, ingénieur consultant et diplômé en direction d'orchestre de la Royal Academy of Music de Londres ?**

Vous y découvrirez les analogies et les différences entre une entreprise et un orchestre, la conduite d'un projet musical, la création d'un orchestre ou d'une entreprise, le rôle du chef d'orchestre avec l'empathie, l'analyse rapide, l'instantanéité, le charisme, la gestion de crise...

**Avec des illustrations précises :** vidéos de grands chefs en action, cas concrets avec musiciens ...

Le format est prévu pour 25 participants maximum, il se termine par une mise en pratique et un débriefing pour améliorer son propre style de management.

**Autre atelier en préparation :** team building

Contact : Marc Hajjar 06 98 77 22 03

[marc.hajjar@centraliens-lille.org](mailto:marc.hajjar@centraliens-lille.org)

[www.ensemblenouvellesportees.fr](http://www.ensemblenouvellesportees.fr)



## Envie d'aventure ?

Nous sommes à la recherche des dirigeants de demain : des esprits créatifs dotés d'une vision stratégique.

Nous recherchons les dirigeants de demain. Des créateurs d'idées. Des concepteurs de stratégies. À vous de tirer le meilleur de vos compétences et de votre formation. Nous vous aiderons à définir un plan de carrière personnalisé et suffisamment diversifié pour garder votre motivation intacte. La passion, l'excellence et la volonté de progresser chaque jour vous animent ? Ne cherchez pas plus loin.

Stratégie | Conseil | Digital | Technologie | Opérations

**accenture**  
High performance. Delivered.\*

© 2015 Accenture. Tous droits réservés. \*La haute performance. Réalisée.

Disponible  
sans correction  
visuelle



ESSILOR® | Eyezen™

Le verre conçu pour la vie connectée.

