

Table des matières

1 Programme de la journée	1
1.1 Introduction	1
1.2 Programme, 3 juin 2014	2
2 Compte-rendu de la journée	3
3 Résumés des interventions	13
3.1 Biomimétisme : accélérer l'innovation durable en apprenant de 3,8 milliards d'années de R&D!	13
3.2 Biomimétisme et transition énergétique	13
3.3 Ubiant — Gestion énergétique du bâtiment <i>via</i> une intelligence collective	14
3.4 Gestion active de la demande de l'énergie électrique, une approche biomimétique	14
3.5 Procédé calculatoire neuromorphique générique et perceptif intégré en un composant électronique ; Application à la conduite automobile par contrôle du regard.	15
3.6 Biomimétisme et innovation systématique — Théorie	15
3.7 Biomimétisme et innovation systématique — Pratique	15
3.8 Biomimétisme et véhicule décarboné : application de la conception bio-inspirée pour stimuler l'innovation de rupture	15
3.9 Microdrones et conception bio-inspirée	16
3.10 CEEBIOS : le premier campus dédié au biomimétisme	16
3.11 Dispositifs de financement et d'accompagnement pour les <i>start-up</i> innovantes	17

Chapitre 1

Programme de la journée

1.1 Introduction

La 3^e révolution industrielle, popularisée par l'essayiste Jeremy Rifkin, s'appuie sur la convergence des technologies de l'information et des énergies renouvelables pour produire une économie soutenable créatrice de richesses. Ce mouvement nécessite de mettre en œuvre des innovations technologiques et sociales en rupture avec les pratiques et les schémas de pensée classiques.

Le biomimétisme, qui se définit comme une nouvelle ingénierie inspirée du vivant, offre un cadre conceptuel propice à l'innovation de rupture, dès lors que l'on a bien posé le problème.

La DARPA, le bras des technologies avancées de l'armée américaine, a créé le 1^{er} avril 2014 une nouvelle division, le BTO (*Biological Technologies Office*) qui vise à détecter et promouvoir les innovations de rupture à l'intersection de la biologie et des sciences physiques. C'est la rencontre de Tony Stark et du commandant Cousteau.

Ce séminaire se veut la boîte à outils pour comprendre et mettre en pratique les principes et méthodes de cette approche holistique des problèmes.

Le matin, nous parlerons enjeux et ruptures permis par l'approche biomimétique dans la production d'énergie, sa gestion intelligente dans le bâtiment ; intelligence permise par l'informatique neuromorphique qui s'inspire du fonctionnement du cerveau humain. L'après midi, nous verrons comment le biomimétisme enrichit la méthode classique d'innovation TRIZ ou la théorie de la créativité C-K en apportant la perspective du vivant.

Nous discuterons application des méthodes dans des secteurs classiques comme l'automobile ou l'aéronautique. Enfin, nous proposerons des pistes pour traduire ces ruptures en innovations monétisables sur un marché.

Pour en savoir plus :

- Jeremy Rifkin, La troisième révolution industrielle. Comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde, Éditions Les Liens qui libèrent, 2012 (ISBN 2-9185-9747-3) ;
- <http://lci.tf1.fr/science/le-biomimetisme-prepare-les-innovations-scientifiques-de-demain-8376048.html> (présentation du biomimétisme) ;
- <http://www.darpa.mil/NewsEvents/Releases/2014/04/01.aspx> (l'annonce de la division Biological Technologies Office) ;
- <http://www.association-aristote.fr/doku.php/public:seminaires:seminaire-2012-09-11> (le bâtiment intelligent, source de valeurs) ;
- Rapport Deloitte 2014 « Inspiring Disruptions », http://www.deloitte.com/view/en_AU/au/services/consulting/technology/tech-trends-2014 ;
- http://www.biotriz.com/sites/default/files/BioTRIZ_EcoInnovation2.pdf (BioTRIZ, a win-win methodology for eco-innovation) ;
- <http://www.slideshare.net/thenciia/open2012-biotriz> (la méthodologie BioTriz) ;
- <http://ceebios.com> (le projet CeeBios de la ville de Senlis).

1.2 Programme, 3 juin 2014

08:50-09:20	<i>Accueil café</i>
09:20-09:30	Introduction , David Menga (EDF R&D), Bernard Monnier (MIM, Thales Research & Technology)
09:30-10h15	Biomimétisme : accélérer l'innovation durable en apprenant de 3,8 milliards d'années de R&D ! , Tarik Chekchak (Secrétaire du Comité Français de Biomimicry Europa)
10:15-10:45	Biomimétisme et transition énergétique , Christophe Menezo (Professeur titulaire de la Chaire INSA/EDF « Habitats et Innovations énergétiques »)
10:45-11:15	<i>Pause café</i>
11:15-11:40	Ubiant — Gestion énergétique du bâtiment via une intelligence collective , Emmanuel Olivier (PDG d'Ubiant)
11:40-12:05	Gestion active de la demande de l'énergie électrique, une approche biomimétique , Sami Najjar (PDG de Stignergy)
12:05-12:30	Procédé calculatoire neuromorphique générique et perceptif intégré en un composant électronique ; Application à la conduite automobile par contrôle du regard , Patrick Pirim (PDG de Brain Vision Systems)
12:30-14:00	<i>Buffet (salon de marbre)</i>
14:00-14:30	Biomimétisme et innovation systématique — Théorie , Pierre Emmanuel Fayemi (Active Innovation Management)
14:30-15:00	Biomimétisme et innovation systématique — Pratique , Giacomo Bersano (PDG de Active Innovation Management)
15:00-15:30	Biomimétisme et véhicule décarboné : application de la conception bio-inspirée pour stimuler l'innovation de rupture , Camila Freitas-Salgueiredo (Renault)
15:30-15:45	<i>Pause</i>
15:45-16:15	Microdrones et conception bio-inspirée , Brieuc Danet (ONERA)
16:15-17:15	CEEBIOS : le premier campus dédié au biomimétisme , Francis Pruche & Kalina Raskin (CEEBIOS)
17:15-17:30	Dispositifs de financement et d'accompagnement pour les start-up innovantes , Michel Moulinet (ALMA CG)
18:00	<i>Fin du séminaire</i>

Chapitre 2

Compte-rendu de la journée

Ce compte-rendu a été réalisé par Leila Lhaneche de l'agence Umaps, « Communication de la recherche et de l'innovation », <http://www.umaps.fr>.

Le biomimétisme. Comment la nature nous aide à innover

Le 3 juin dernier, l'association Aristote réunissait près d'une cinquantaine de personnes, dans l'amphithéâtre Becquerel à l'École Polytechnique, pour une journée dédiée au biomimétisme. Un concept expliqué, raconté, partagé au fil de ce séminaire où se sont dressés théories et cas pratiques allant des fourmis aux trains, de la philosophie à la physique.

Comme l'a introduit David Menga : « Bien plus qu'une tendance, le biomimétisme s'impose à nous car la nature ne manque pas d'inventivité en matière d'ingéniosité et d'adaptation, le biomimétisme répond aux enjeux sociétaux et environnementaux d'aujourd'hui ».

À l'ère de l'innovation de rupture, le biomimétisme offre un cadre conceptuel propice à la mise en œuvre de la 3^e révolution industrielle, qui, selon son père s'appuie sur la convergence des technologies de l'information et des énergies renouvelables pour produire une économie soutenable et créatrice de richesse. Ce séminaire s'adresse aux entreprises innovantes, aux entrepreneurs, aux scientifiques, et à toute âme curieuse et sensible à l'avenir de notre terre et de notre économie. En effet, cette journée se veut également la boîte à outil pour comprendre et pour mettre en pratique les principes et méthodes de cette approche holistique des problèmes.

Vous allez voir (et apprendre à voir) : la nature est très inventive !



Tarik Chekchak (Biomimicy Europa)

La nature, cette pro de la R&D



Tarik Chekchak ouvre le bal en nous expliquant les potentialités de notre nature et l'intérêt de s'en inspirer. Il annonce les couleurs : le biomimétisme est un accélérateur d'innovation.

Pour deux raisons évidentes, nous sommes obligés aujourd'hui de chercher de l'inspiration du côté de la nature. D'une part, parce que la nature n'est pas soumise à un système d'augmentation des ressources. Et l'homme n'est pas soumis à un système de diminution de ses capacités à pouvoir subvenir à ses besoins. Et nous le savons, nous courrons vers une limitation au développement de l'homme avec un épuisement des ressources et une perte d'espèces. D'autre part, la nature nous offre plein de services : service d'approvisionnement (bois, poisson,...) service de régulation (stockage du carbone, régulation des précipitations,...), service culturel (beauté des paysages,...), et service d'appui (formation des sols,

recyclages des éléments nutritifs,...). Les spécialistes ont caractérisé 1,9 millions d'espèces. Cependant, les estimations penchent pour environ 30 millions, et la vie crée la vie, tout milieu est une ressource. Pensez par exemple à la symbiose, la multicellularité ou encore à la spécialisation pour un fonctionnement en réseau tel que le corps humain.

La vie fonctionne en dynamique constante entre crise et innovation. Sa force est dans sa capacité à la résilience, c'est-à-dire à maintenir son intégrisme malgré un contexte dynamique. Nous pouvons nous en inspirer pour savoir comment utiliser l'énergie solaire, comment utiliser l'eau comme solvant universel, comment fabriquer à température et pression ambiante ou encore comment mieux partager et gérer l'information. Comme dirait Tarik Chekchak : « Cela fait 3,8 milliards d'années que la vie s'adapte à son environnement ». Eh oui, elle a une longueur d'avance, mais représente aussi une formidable source d'inspiration.

Concrètement, Tarik Chekchak nous invite à réconcilier technosphère et biosphère. En se basant sur trois sources d'inspiration.

Les formes : il s'agit d'adapter les formes aux fonctions (faciliter les écoulements comme une baleine), de penser *design* multifonctionnel (le canard se lèche pour se nettoyer, en même temps cela active une glande responsable de la production de la vitamine D).

Les processus : comment capter l'énergie comme une feuille, fabriquer du gaz comme une vache, coller comme une moule, cicatriser comme une peau,...

Les systèmes : fermer les boucles, sortir du système linéaire pour un système circulaire pour le développement durable.

Et Tarik Chekchak a également amorcé la liste des cas concrets de biomimétisme en citant notamment le mouvement *cradle to cradle*, ce qui signifie « changer les éléments pièce par pièce » ; un mouvement qui incite à penser coproduit et non déchet. Les géants industriels ne sont pas en reste non plus, Google a mis en place le projet ARA qui allie économie et réutilisation. Il s'agit de trouver un équilibre pour une utilisation optimale des biens : le développement durable doit se situer entre un plancher et un plafond. Concernant le pétrole par exemple, l'objectif est de savoir combien de pétrole faut-il pour passer sans danger à la période d'après pétrole.

Dans le monde, les États-Unis sont *leaders* en matière de biomimétisme, ce dernier prend une place de plus en plus importante avec l'attribution de 4 fois plus de brevet en 3 ans. L'Allemagne est *leader* européen avec plus de 80 groupes de recherches financée à hauteur de 3M d'euros sur 5 ans. En France il y a une réelle place à prendre comme nous allons le voir plus bas...

Christophe Menezo (INSA/EDF)

Bienvenue dans la ville biomimétique



Le bâti consomme 50% des ressources énergétiques. De ce fait, la gestion des flux urbains est un enjeu sanitaire, économique et sociétal. Vous allez voir comment maintenir un microclimat sain et confortable, en s'inspirant du monde du vivant pour atteindre la sobriété énergétique, autrement dit, l'efficacité énergétique.

Aujourd'hui, il n'y a que 12% de similarités entre la technologie et la nature pour la résolution des problèmes. Le programme « Horizon 2020 » impose des bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en dépensent. Nos villes seront bioinspirées, et nos bâtiments seront intégrés au sein des réseaux énergétiques, hydrauliques, de transports,... Le monde du vivant et ses écosystèmes sont sources de processus, de stratégies inédites pour la problématique énergétique. Il faut imiter la façon dont les plantes et les animaux surmontent leurs problèmes d'ingénierie et d'organisation. Cela pourrait réduire la dépendance de l'homme aux ressources (énergie, matériaux, etc.).

Il faudra imaginer une organisation et une connexion des systèmes en s'inspirant, par exemple, du système neurologique pour les écosystèmes et du tissu cellulaire pour la ville.

Si l'on regarde autour de nous, la faune et la flore ont mis en place des revêtements très pratiques. Nous pouvons nous inspirer de l'enveloppe de la peau et de la surface des plantes pour un contrôle passif de l'intérieur de la maison ; une interface qui assure le rayonnement, la convection, la protection mécanique, et la protection contre les pathogènes et les insectes.

Les plantes font monter l'humidité des sols pour transpirer et se rafraîchir, c'est ce qui est appelé l'homéostasie : des conditions intérieures stables malgré les changements des conditions extérieures. Les bâtiments doivent être orientés par rapport au soleil, pour en capter l'énergie. Garder la chaleur l'hiver, la restituer l'été. Il s'agit également d'étudier la surface par rapport au volume : plus c'est compact plus l'efficacité est augmentée, car l'énergie n'est pas étalée. Dans le monde, il y a de formidables constructions bioinspirées, telles que la tour avec système de cheminé au Japon ou la mosquée avec son système de ventilation naturel au Mali.

Et les sources d'inspiration sont quasi infinies. Les microorganismes maintiennent leur température, pression et humidité grâce aux échanges gazeux ; la flore arbore un revêtement autonettoyant. Les spécialistes pourraient s'en inspirer pour développer des enduits de façade qui captent l'humidité. Les papillons ont la capacité d'auto-réflexion, ils traitent ainsi de façon sélective les rayons solaires selon leur longueur d'ondes. Nous pouvons également nous inspirer de la nature pour la production d'énergie et pour répondre aux besoins en électricité. Par exemple, le fil de soie possède des propriétés électriques et thermoélectriques : lorsque la température diminue l'énergie est restituée sous forme de chaleur. L'anguille est une centrale électrique qui transfère les ions sodium *via* l'ouverture des canaux cellulaires, s'en suit une restitution et une décharge. Le frelon, lui, capte l'énergie solaire et la transforme en électricité, ...

Emmanuel Olivier (Ubian)

L'intelligence pour tous et par tous

Emmanuel Olivier nous a présenté une application concrète du biomimétisme : l'intelligence ambiante, ou comment connecter les objets du quotidien *via* l'informatique et l'électronique.



Le constat est *a priori* simple, l'intelligence devient de plus en plus ambiante, vers tout, tout le temps, et tout le monde est connecté. Pour gérer ces connexions et en tirer le meilleur, Ubiant s'inspire de la nature pour créer des solutions technologiques pour les bâtiments à énergie positive. Ubiant, fusion de deux mots, « ubiquitaire » et « ant » (fourmis en anglais), s'inspire du monde des fourmis pour mettre en place une plateforme d'efficacité énergétique : Hemis. Plus les fourmis s'approchent de la nourriture plus elles diffusent des phéromones dans l'air, ce qui constitue une signature pour les autres fourmis donnant naissance à l'information décentralisée. Hemis

est un système de capteurs piloté par le « ressenti consommateur ». Comme les fourmis, les hommes laissent des traces (marquages) dans leur environnement en l'occurrence, le CO₂. Cela permet de savoir combien de personnes il y a par pièce, pour répondre aux besoins réels, en recevant l'information sous forme de marquage CO₂.

Hemis est ainsi piloté par les « ressentis usagers », entraînant l'auto-organisation du bâtiment. L'enjeu étant de hiérarchiser les priorités entre la trilogie : usagers, bâtiments et objet, pour trouver un équilibre entre l'efficacité énergétique, la vie privée (les données personnelles), et le confort en temps réel. Tout en alliant intelligence collective, stabilité du réseau électrique, à l'intelligence individuelle, qui se traduit par le confort et l'économie d'énergie. Il s'agit d'appliquer une gestion combinatoire pour maintenir la chaleur et la luminosité, qui sont contradictoire, en évitant de faire des compromis. La résolution d'un problème par approche décentralisée est possible et efficace, et cela apporte une robustesse face aux aléas, comme nous l'a prouvé la simulation en directe à laquelle nous avons eu droit durant le séminaire. De plus, cela corrige le défaut du thermostat, à savoir, la régulation centralisée, même lorsque différentes températures sont ressenties dans la pièce.

Sami Najjar (Stynergy)

Les abeilles pour faire baisser les factures



Sami Najjar nous a raconté la conception d'un système décentralisé inspiré des groupes d'insectes sociaux tels que les abeilles vivant en essaim, aspect pratique du biomimétisme visant à faire baisser la consommation énergétique des particuliers.

Stynergy est inspiré des principes de la « stigmergie », qui se réfère au comportement d'insectes sociaux. L'échange d'informations entre ces insectes fait que, globalement, ils arrivent à résoudre des problèmes difficiles comme l'exploitation de sources de nourriture, la construction de rayons, *etc.* Cela résulte d'une intelligence collective qui émerge de l'interaction entre des agents relativement simples. Cette action collective des agents trouve des solutions aux problèmes sans aucune supervision.

Ce système a inspiré Stynergy dans le contrôle du pic d'énergie. Il s'agit d'installer un terminal de commande pour chaque appareil, tous étant capables d'échanger des données entre eux, et de s'adapter selon l'information des appareils environnant. En pratique Stynergy a réalisé une campagne de mesure pour comprendre le fonctionnement des appareils. Il y en a trois types : les appareils non prédictibles comme la télévision, les appareils semi prédictibles — dont

on ne sait pas quand ils s'allument mais dont on connaît le moment où ils s'éteignent — tels que le lave-vaisselle, et les appareils prédictibles comme les frigidaires. À partir des mesures obtenues, on dresse des profils dont l'information peut réduire le pic d'énergie en retardant l'allumage de certains appareils, en supprimant un cycle ou encore en interrompant des appareils. À certaines heures de la journée, cela peut permettre de faire baisser le pic d'énergie. Concrètement, la gestion de la flexibilité des appareils, permet de réduire de 10 à 15% sa facture d'électricité. Le système est amorti sur 24 à 30 mois, et l'installation requiert 30 min par terminal.

Patrick Pirim (Brain Vision Systems)

Procédé calculatoires



Rien n'échappe au biomimétisme. Dans ce cas, il s'agit du développement de puces génériques neuromorphiques pour une perception visuelle semblable à celle du cerveau humain. Cette idée émerge d'un constat simple et relativement ancien : l'homme a des capteurs (les 5 sens et les phéromones) tous différents avec un élément fédérateur ; le cerveau. En 1986, Bach-y-Rita avait déjà prouvé que la vision s'effectuait *via* les sens grâce à des capteurs posés sur un non voyant qui lui ont permis de capter des vibrations, et de savoir ce qu'il se passe autour de lui.

Il s'agit de mettre au point un traitement équivalent pour un processus différent. En imitation d'une population de neurones, générateurs de courant grâce aux échanges sodium potassium, les scientifiques ont créé un modèle générique prenant en compte trois aspects, l'aspect global, l'aspect structural et l'aspect dynamique

qui correspondent aux tâches de couleurs et aux mouvements détectés pour l'identification des bords, des courbures et des textures. La détection d'obstacle est inspirée par les oiseaux qui, avant de plonger dans l'eau, mettent les ailes en avant pour gagner du temps en cas d'obstacle.

Ces données sont traitées en ligne par une série de modules de calculs d'histogrammes spatiotemporels auto-adaptatifs avec capacité de recrutement dynamique, d'inhibition et de prédiction, en imitation d'une population neuronale. Ce système peut être utilisé dans les carrefours, les drones, la vision binoculaire, la robotique programmée, et perception des lignes de la route pour une voiture *via* un capteur de vitesse et un capteur des lignes qui se rejoignent.

Pierre Emmanuel Fayemi (AIM)

Biomimétisme ; le pourquoi du comment

Einstein avait dit : « Le monde que nous avons créé est le résultat de notre niveau de réflexion mais les problèmes qu'il engendre ne sauraient être résolus à ce même niveau ». En effet, nous rejetons trop de CO₂, nous rejetons trop d'azote et la biodiversité est menacée. Le biomimétisme est aujourd'hui, et plus que jamais, une nécessité. C'est un concept ancien, comme le disait Léonard de Vinci : « Ceux qui s'inspirent d'un modèle autre que la nature peinent en vain ». Mais en fait, le biomimétisme c'est quoi ?

Pour Pierre Emmanuel Fayemi c'est une discipline technique qui se pratique par la réplique et l'augmentation ou le remplacement d'un système biologique par un système électromécanique. C'est aussi une discipline philosophique dans laquelle on résout des problèmes liés à la soutenabilité. En somme il s'agit

d'être plus efficace dans la résolution des problèmes, plus efficace que la technique, en se rapprochant des modèles naturels.



Dans un deuxième temps Pierre Emmanuel Fayemi nous a cité quelques exemples de réalisations inspirées par la nature qu'il s'agisse de forme, de fonction ou de système. Les concepteurs de trains se sont inspirés du martin pêcheur pour éviter la déflagration en entrée de tunnel. En effet, la forme du bec fait de cet animal l'un des plus compétant pour entrer en milieu avec différentiel de pression. Toutefois, certaines tentatives de biomimétisme se soldent par des échecs, comme la tentative d'imitation du gecko, qui se lèche pour se nettoyer et pour coller aux surfaces, car l'adhésif mis au point que le gecko a inspiré est soit indécollable soit sans pouvoir adhésif.

Pour s'inspirer de la nature il y a deux chemins à suivre : soit c'est la solution qui oriente la réflexion par observation de la nature et la recherche d'applications potentielles, soit c'est à partir d'un problème défini que l'on cherche des solutions dans la nature. Une fois le mo-

dèle biologique identifié, il est primordial d'avoir une bonne prise en compte de l'environnement, mais le transfert peut être complexe...

Pour imiter la nature, le processus se déroule en plusieurs étapes (6 pour Bogatyrev et 7 pour Nagel). Il s'agit d'identifier, de définir, de générer des alternatives, de choisir des solutions, d'implémenter, de tester, de décrire le problème, de rendre abstrait un problème technique, de transposer dans le domaine biologique, d'identifier les modèles biologiques potentiels, de sélectionner les modèles biologiques d'intérêt, de rendre abstraites les stratégies du vivant, ou encore de traduire un processus biologique en un défi technologique.

Giacomo Bersano (AIM)

Comment faire ?



Giacomo Bersano a dressé une feuille de route et une liste de questions que doivent se poser ceux et celles qui veulent se lancer dans l'aventure du biomimétisme.

Nous disposons d'un certain nombre d'outils pour « biomimer ». Les bases de données qui constituent un outil d'agrégation d'informations liée à des modèles biologiques ; les méthodes sémantiques, méthodes de traduction des termes biologiques en des termes technologiques et *vice versa*. Nous pouvons également disposer d'outils de promotion, mettant en avant l'aspect philosophique du biomimétisme. Les algorithmes inventifs, efficaces pour traiter les problèmes complexes, dérivés du TRIZ, fondés sur des heuristiques basés sur l'analyse des brevets, l'analyse des grandes inventions, des découvertes et des grand succès en entreprise et des études psychologiques. TRIZ étant l'acronyme russe de « Théorie de la Résolution des Problèmes Inventifs ».

Quelles pistes la nature peut nous prodiguer pour la résolution de nos problèmes ? Identifier le prototype idéal au cas applicatif avant d'être mis en contact avec des experts ; ensuite sélectionner le prototype

biologique le plus intéressant.

Comprendre la problématique et jauger le contexte : s'attaquer à un contexte que nous sommes capables de résoudre. Quelle est la place de l'innovation dans notre entreprise ? Quelle est sa capacité à innover ? Notre stratégie est-elle la bonne ? Que signifie nous lancer dans une démarche biomimétique pour notre projet ? Y sommes-nous préparés ? Comment optimiser les indices clés du succès ? Déterminer la portée réelle de notre problème, appréhender la *bigger picture* ? Quels sont les sous-problèmes clés afin de définir les leviers de résolution disponibles pour notre problème ?

Favoriser l'intelligence inventive : audit de l'esprit d'innovation dans l'entreprise. Créer une structure et un état d'esprit favorable à l'innovation, en identifiant une direction et un temps.

Appréhender l'idéalité d'une solution, une solution idéale étant une solution réaliste. Les questions que nous pouvons nous poser sont alors : quel est le but de notre système ? Quel est le résultat idéal ? Qu'est ce qui nous empêche de trouver notre solution ? Où est le blocage ? Comment faire disparaître ce qui nous arrête ? À quel point notre solution est-elle innovante ? Avons-nous répondu à la problématique initiale ? *Quid* de la résilience de notre solution ? Quelle stratégie adopter pour la suite du développement ?

Camila Freitas Salgueiredo (Renault)

En route !



Aujourd'hui dans le monde, les véhicules à énergie fossile sont les plus vendus. Dans un contexte de baisse des émissions de CO₂, l'enjeu est de protéger notre planète en améliorant la qualité de l'air dans les villes et d'en finir avec la dépendance aux carburants, tout en garantissant un avenir pour la mobilité. Selon les spécialistes, nous sommes sur la bonne voie puisque l'émission de CO₂ commence à baisser depuis quelques années.

Camila Freitas Sageueiredo s'est penchée sur la question pour trouver des idées en rupture. Qu'il s'agisse des frottements, de la masse, de l'aérodynamisme, des conducteurs,... Et c'est vers le biomimétisme qu'elle s'est tournée pour trouver une solution et réduire les émissions de CO₂. Quelles propriétés du biomimétisme ? Comment les utiliser dans ce cas précis ? Comment appliquer le biomimétisme à des véhicules décarbonnés ? Et pour quel domaine ? L'aérodynamique ? L'allègement ? Une nou-

velle motorisation ?

C'est une rencontre avec des chercheurs travaillant sur l'énergétique humaine qui a aiguillé ces recherches en cours : un homme qui court les 100m n'a pas la même préparation qu'un homme qui court les 200m, ce dernier doit régénérer ses ressources pour tenir la distance, il utilise trois métabolismes différents pour produire son énergie durant une course. Cela fait réfléchir sur les rapports possibles entre ces trois métabolismes et les énergies des batteries électriques et du carburant. Le corps humain gère son énergie en aérobie et en anaérobie. Ces deux processus ont tous deux des points forts et des points faibles lorsqu'ils sont transposables aux systèmes de voitures. En anaérobie les quantités sont limitées, elles permettent une surcapacité régénérée pendant l'exercice. En revanche, en aérobie il y a une limitation en puissance et en quantité. De ce fait les automobiles multi-énergies (hybride) sont idéales puisqu'elles prennent le meilleur des deux mondes ; elles utilisent l'énergie thermique et électrique lorsque c'est optimal. De plus, dans la nature il existe la récupération d'énergie sous forme élastique des tendons des kangourous qui constitue également une source d'inspiration pour le stockage élastique dans les véhicules de façon différente de celle explorée aujourd'hui.

Une chose est sûre, le monde de la biologie et celui de la technologie peuvent, de par leur potentiel éloignement, provoquer un enrichissement mutuel et ce projet en est la preuve.

Brieuc Danet (ONERA)

Les microdrones vont prendre leur envol



Sami Najjar nous a raconté la conception d'un système décentralisé inspiré des groupes. L'inspiration peut naître de la fascination. D'ailleurs, selon Brieuc Danet il ne s'agit pas d'imitation mais bien d'inspiration. Avec quelques milliards d'années de perfectionnement, les systèmes d'adaptation naturels semblent simples. Pourtant lorsqu'il s'agit de s'inspirer des oiseaux et des insectes pour fabriquer des structures volantes les choses se compliquent...

Selon le nombre de Reynolds ($Re = \text{inertie} / \text{viscosité}$), il y a un classement des conditions de vol qui fait du vol des oiseaux et des insectes deux processus très différents.

Au tout début, les tentatives de vol s'inspiraient du vol battu des oiseaux (pensez à Icare !). Mais il s'est avéré que c'était une mauvaise idée car le squelette des oiseaux a une morphologie adaptée à ce type de vol, ce qui en fait un système peu imitable. De plus, cela consomme

beaucoup d'énergie. La bioinspiration n'est pas toujours simple ! Cependant, le vol battu pourrait permettre d'atteindre des performances de vol inégalées, notamment dans le domaine des microdrones qui, de par leur petite taille, sont adaptés à ce type de vol. De plus, cela facilite le vol stationnaire. Il s'agit d'un capteur aéroporté discret et difficile à cibler ; il peut aussi être très efficace pour remplacer les pompiers, par exemple, dans la vérification des pièces incendiées. Cependant, dans la nature, pour les insectes, les ailes ne sont pas innervées, elles se déforment donc de façon passive. De plus, pour bouger, le thorax agit comme actionneur telle une cage de raisonnement.

La modélisation est en cours, il y a encore beaucoup de recherches, de collaborations et de développements d'interfaces métier pour arriver à la conception du bioinspiré, telle que la modélisation du microdrone.

François Pruche & Kalina Raskin (CEEBIOS)

CEEBIOS, the place to be

Le biomimétisme aussi a son campus dédié : CEEBIOS. À quelques kilomètres du nord de Paris, ce haut lieu de la connaissance s'étale sur 10 hectares : bâtiments, laboratoires, logements étudiants, restaurants, ... dont les enjeux sont de disséminer, de convaincre les spécialistes, de mettre en œuvre, de former, de développer les outils, de financer et d'héberger des espaces à louer, et des laboratoires. Avec un lancement en 2011-2013, un amorçage en 2013-2014 et, à partir de 2014, une gestion collégiale et partenariale du site, CEEBIOS se veut un lieu d'éducation et de formation, d'accompagnement de projets, un réseau, une base de données des appels à projets dédiés annoncés dans « Horizon 2020 », un catalyseur et un *showroom* avec un pôle recherche, un pôle formation, un *business campus*, un espace congrès et conférences. Pour 2014-2015, 10 sessions de formations, 10 à 30 entreprises et plus de 350 emplois de tous les niveaux de qualification seront attendus.

L'objectif est de répondre aux défis sociétaux tels que l'énergie, les matériaux, la chimie verte, l'eau, les systèmes industriels et agricoles, ... Le tout, dans un « esprit campus » au service de l'innovation pour une

réconciliation entre économie et écologie. Les ressources — énergie et matières premières — coûtent et vont coûter de plus en plus cher car elles deviennent de plus en plus rares, alors que la nature est extrêmement



économe dans sa consommation et dans ses procédés. Le biomimétisme apporte un « comment » au « pourquoi » des enjeux environnementaux souvent perçus comme anxiogènes.

Il s'agit d'une convergence à l'échelle nationale, vu le nombre croissant de « produits » bioinspirés, d'un besoin et d'une attente de réseau, d'accompagnement, de visibilité et d'une apparition dans les discours institutionnels. Mais également une convergence à l'échelle européenne. En effet, tous les pays européens constatent le même problème ; l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique, la Suisse, l'Espagne, l'Angleterre constatent les mêmes leviers et les mêmes freins quant au biomimétisme. L'enjeu à terme sera de réconcilier le développement économique et le respect de l'environnement. De mettre à profit l'humilité intrinsèque au biomimétisme : une approche et une recherche de sens en phase avec notre époque, qui

répond au besoin constant d'innover, de sortir des silos, des schémas de pensée pré formatés. C'est une rupture scientifique et technologique.

Michel Moulinet (Alma)

Des aides pour les *start-up*

Pour clôturer le séminaire, Michel Moulinet nous a dressé un panorama des aides aux *start-up*, afin qu'elles puissent cibler les sources de financement en accord avec leur stade de développement et leur stratégie de croissance. En effet, les structures innovantes doivent certes innover, mais aussi rechercher des financements tout au long des différentes étapes de leur croissance.

La naissance d'un produit innovant suit différentes étapes, à savoir, l'idée, le concept, le prototype et enfin l'amorçage commercial. A chacune de ces étapes, différentes aides sont proposés. Bpi France financera jusqu'à 45% des dépenses de R&D, idem pour l' Agence Nationale de la Recherche (ANR), alors que « Horizon 2020 » peut couvrir jusqu'à 100% des dépenses en R&D. Les *business angels* prennent par la suite le relais au moment du lancement industriel et commercial d'une innovation.

En France, les recherche en amont sont principalement financées par l'ANR (jusqu'à 2 M€). Tandis que la recherche appliqué est fiancée par « l'aide à la faisabilité de l'innovation », à hauteur de 100k à 1M€. En phase d'industrialisation, c'est-à-dire de la recherche vers le marché, intervient « l'aide pour le financement de l'innovation » à hauteur de 100k à 1M€, l'ADEME à hauteur de 1 à 2 M€, le fonds interministériel dont la fourchette est de 2à 3 M€, et le projet structurant pour la compétitivité qui peut s'élever à 10 M€.

En Europe, les recherches en amont sont financées par « Horizon 2020 », la recherche appliquée par Euramet, Eureka/Eurostars et FEDER qui financent la recherche au lancement, la recherche appliquée, et la transition vers l'industrialisation. « Horizon 2020 » s'engage également à financer l'innovation qui répond aux défis sociaux tels que la santé, le bien-être,...

D'autres dispositifs sont également disponibles, il s'agit du crédit impôt-recherche, un crédit d'impôt de 30% des dépenses de R&D, et du crédit d'impôt-innovation, nouveau dispositif en faveur des PME avec un taux de 20% plafonné à hauteur de 400 000 €par an. Il contribue à financer des nouveaux produits, c'est-à-dire des biens corporels ou incorporels qui ne doivent pas encore être mis sur le marché et qui se distinguent des produits déjà existants par des performances supérieures sur les plans technique, de

l'écoconception, de l'ergonomie ou de ses fonctionnalités. Enfin, depuis 2004 un statut fiscal incitatif, le statut de jeune entreprise innovante, a été mis en place en vue de soutenir les jeunes entreprises lors de l'étape critique de la création. Il permet de bénéficier d'exonérations de cotisations sociales patronales et d'exonérations fiscales. Il concerne les entreprises de moins de 250 personnes, ayant moins de 8 ans d'expériences, et réalisant un chiffre d'affaire inférieur à 50 M€ ou un total de bilan inférieur à 43 M€. Le capital doit être détenu à plus de 50% par des personnes physiques ou assimilées. Il est cumulable avec le crédit impôt recherche.

Chapitre 3

Résumés des interventions

3.1 Biomimétisme : accélérer l'innovation durable en apprenant de 3,8 milliards d'années de R&D !

Tarik Chekchak, Secrétaire du comité français de Biomimicry Europa

Le biomimétisme vise à faciliter le transfert de connaissances de la biologie vers d'autres disciplines dans le but de résoudre des *challenges* technologiques ou de gouvernance. La démarche consistant à observer le vivant pour innover est presque aussi vieille que l'humanité mais, en mettant au cœur de l'approche la responsabilité sociale et environnementale des organisations (RSE), le biomimétisme est résolument moderne et c'est une thématique en pleine émergence en France. Nous découvrirons comment apprendre d'un oiseau pour minimiser les dépenses énergétiques d'une locomotive ? D'une éponge pour fabriquer des matériaux à température et pression ambiantes ? Nous explorerons des notions comme la résilience des écosystèmes et ce que nous pouvons en apprendre pour mieux se préparer aux crises. Nous finirons par un état des lieux des initiatives et du potentiel du biomimétisme en France et à l'international.

3.2 Biomimétisme et transition énergétique

Christophe Menezo, Professeur, titulaire de la Chaire INSA/EDF « Habitats et Innovations énergétiques »

Ingénieur en génie civil ; Docteur en physique du bâtiment ; Professeur de l'université de Savoie mis à disposition de l'INSA de Lyon, rattaché au Centre de thermique de Lyon, Christophe Ménézo est titulaire de la chaire de recherche « Habitats et Innovations Energétiques » sous l'égide de la fondation INSA et d'EDF. Les actions de la chaire portent sur les composants solaires producteurs d'énergie en milieux urbains.

Le monde du vivant qu'il soit végétal, insecte ou animal a su s'adapter, physiquement ou par son organisation, aux contraintes environnementales et subvenir à ses besoins. Les évolutions lui permettent de se protéger de l'humidité ou au contraire de la capter, de se rafraîchir ou de se réchauffer, de maintenir les conditions d'ambiance interne à son habitat nécessaire au « bien être » de sa progéniture et à son alimentation (stockage, culture) voire produire de l'électricité pour ce protéger ou se diriger. Le monde du vivant représente par conséquent un gisement d'innovations important pour la conception des habitats modernes et l'aménagement urbain afin d'en limiter les impacts environnementaux. Centrée sur les contraintes climatiques, énergétiques et environnementales la conférence abordera des voies d'innovations à l'intersection de multiples champs disciplinaires et transposables de l'échelle du bâtiment à celle de la ville biomimétique.

3.3 Ubiant — Gestion énergétique du bâtiment *via* une intelligence collective

Emmanuel Olivier, PDG d'Ubiant

Ubiant est une entreprise innovante dont la vocation est de créer des solutions technologiques pour les bâtiments à énergie positive et pour l'internet des objets.

La marque Ubiant est née de la contraction de *ubiquité* et *ant* (fourmis en anglais) car la méthodologie retenue s'inspire des systèmes biologiques qui permettent l'émergence d'un comportement collectif intelligent à partir d'un ensemble de composantes non-intelligentes.

Avec les objectifs du plan *Climat Energie Européen*, dont les traductions Française sont RT2012 et RT 2020, nous assistons, avec les énergies renouvelables, à la décentralisation progressive de la production d'électricité et à la nécessaire adaptation des bâtiments à cette évolution.

Ubiant est convaincue que seule une gestion décentralisée, inspirée des écosystèmes naturels, peut répondre à ces contraintes réglementaires dont la complexité de gestion implique de rendre les objets et bâtiments plus autonomes et plus intelligent sans affecter le confort et les désirs des usagers.

3.4 Gestion active de la demande de l'énergie électrique, une approche biomimétique

Sami Najjar, PDG de Stignergy

La facturation d'électricité du secteur commercial et industriel inclut principalement l'énergie consommée et la demande de puissance appelée « pic de puissance » dans l'intérêt commun du fournisseur d'énergie et du consommateur de limiter les pointes de puissance. D'où l'importance d'un système efficace pour la gestion des pics de puissance en particulier et pour le contrôle et l'optimisation de la demande de l'énergie électrique en général.

Stignergy a développé et commercialise *Smart Energy Management System* (SEMS), un nouveau système pour le contrôle et l'optimisation de la demande de l'énergie électrique pour les professionnels. Basé sur une technique d'intelligence artificielle bio-inspirée, SEMS est un système décentralisé d'équilibrage dynamique de la charge permettant de réduire le pic de puissance. Les modules SEMS apprennent et supervisent par eux-mêmes la consommation des appareils gros consommateurs d'énergie auxquels ils sont connectés et, au moyen d'un régulateur local, contrôlent automatiquement leur activation afin d'éviter des pics de charge. SEMS permet ainsi de réaliser de substantielles économies de coûts de l'électricité pour les entreprises et d'éviter des pics de puissance sources de perturbations et d'instabilités du réseau électrique.

L'approche de Stignergy pour contrôler et optimiser la pointe de puissance d'un réseau électrique s'inspire de la nature. L'intelligence de SEMS émane du comportement social observé chez les insectes (fourmis, termites et abeilles) et de celui de certains animaux se déplaçant en formation (oiseaux migrateurs, banc de poissons,...). Cette interaction inter-agents crée une « intelligence collective », permettant de résoudre les *challenges* les plus complexes sans l'aide d'aucun superviseur. L'élément clé de la solution SEMS est une technologie de communication performante, qui permet de synchroniser les différents modules SEMS entre eux. Comme dans la nature, chaque module SEMS est capable de prendre ses propres décisions grâce à un algorithme distribué dans chaque composant. SEMS est composé d'éléments simples coopérant pour atteindre l'objectif global qui est la réduction de la demande d'énergie des appareils d'une installation électrique.

Stignergy est inspiré de la « stigmergie », un terme introduit par le biologiste français Pierre-Paul Grassé en 1959. La « stigmergie » est une méthode de communication indirecte dans un environnement émergent auto-organisé où les individus communiquent entre eux en modifiant leur environnement.

3.5 Procédé calculatoire neuromorphique générique et perceptif intégré en un composant électronique ; Application à la conduite automobile par contrôle du regard.

Patrick Pirim, PDG de Brain Vision Systems

Depuis 1986, une série de puces génériques neuromorphiques ont été développées pour la perception visuelle semblable à l'humain. D'une façon similaire au cerveau, la puce perçoit les paramètres d'entrées visuels sous trois modalités perceptives, respectivement liées aux taches de couleur, à la détection de mouvement et à l'identification de bords, courbures et textures. Ces perceptions dites : « globales », « dynamiques » et « structurelles » sont traitées en ligne par une série de modules de calculs d'histogrammes spatiotemporels autoadaptatifs avec capacité de recrutement dynamique, d'inhibition et prédiction, en imitation d'une population neuronale. Ces histogrammes interconnectés fournissent des informations élémentaires « OU » et « QUOI » similaires au traitement visuel du cerveau qui sont ensuite associées dynamiquement afin de créer des graphes de plus haut niveau. La mémorisation des éléments de ce graphe en association avec un *label* correspond à l'auto apprentissage. Par bijection, le rappel du *label* met en place l'organisation du graphe perceptif en attente de celui-ci, l'énergie du graphe indique sa présence et sa position. La substitution sensorielle, démontrée depuis 1971, permet d'étendre ce procédé perceptif à l'ensemble des sens et plus généralement au fait que le cerveau ne traite pas l'information, il la représente. Les capacités de la puce sont montrées ici en simulant la conduite d'un véhicule par un humain qui contrôle la rotation du volant par son regard, en percevant l'illusion du triangle de Kanizsa et en participant à une démonstration en temps réel.

3.6 Biomimétisme et innovation systématique — Théorie

Pierre Emmanuel Fayemi, AIM

L'intervention a pour but de proposer une prise de recul méthodologique sur ce qu'est le biomimétisme. Après une brève analyse des concepts relatifs au domaine de la bio-inspiration, certaines *success stories* seront passées en revue afin de faire émerger un processus biomimétique. En lien avec ce processus, les types d'outils (existants et envisageables) capables de supporter ce type de démarche seront présentés.

3.7 Biomimétisme et innovation systématique — Pratique

Giacomo Bersano, PDG de Active Innovation Management

En lien avec la présentation précédente, l'intervention, formalisée en un *workshop* interactif, se concentrera sur la mise en application de certains des outils présentés.

3.8 Biomimétisme et véhicule décarboné : application de la conception bio-inspirée pour stimuler l'innovation de rupture

Camila Freitas-Salgueiredo, Renault

Pour réduire la dépendance aux carburants fossiles et diminuer l'empreinte environnementale des véhicules automobiles, plusieurs mesures ont été mises en place par l'industrie. Des progrès importants ont été accomplis avec ces mesures. Néanmoins, pour poursuivre cette tendance de réduction, des innovations de rupture sont nécessaires. Ces ruptures peuvent agir sur le véhicule (motorisation, masse, aérodynamique, frottements), sur les conducteurs ou sur les infrastructures. Les exemples de bio-inspiration issus de différents domaines (matériaux, construction, architecture, aviation) montrent que l'exploration des connaissances issues du vivant peut permettre la génération d'innovations surprenantes.

Nous montrerons dans cette présentation comment la bio-inspiration est appliquée pour générer les concepts pour le véhicule décarboné. Ce projet en cours utilise les connaissances sur les processus énergétiques de l'humain et des animaux pour en déduire des concepts applicables pour réduire les émissions de CO₂ des véhicules multi-source d'énergie. Par exemple, un coureur de fond utilise trois métabolismes énergétiques pour produire son énergie pendant une course : deux où l'oxygène n'intervient pas et un autre où l'oxygène intervient. Cela nous fait réfléchir aux rapports possibles entre ces trois métabolismes et les énergies des batteries électriques et du carburant. Un autre exemple, le vivant utilise des mécanismes de stockage temporaire d'énergie qui stockent de l'énergie élastiquement, comme chez les kangourous, ce qui nous fait réfléchir aux possibilités d'explorer le stockage élastique dans les véhicules de façons différentes de celles explorées aujourd'hui.

La bio-inspiration nous conduit également à évaluer les échanges de connaissances entre partenaires et leur valeur avec d'autres critères. Comme la biologie et l'ingénierie sont des domaines éloignés, les intérêts des échanges peuvent être difficiles à estimer au démarrage d'un projet de bio-inspiration. Le projet sur le véhicule décarboné a montré que l'activité de bio-inspiration provoque un enrichissement mutuel des partenaires du projet, où les ingénieurs apprennent des connaissances apportées par les chercheurs du vivant et leur apportent des nouveaux regards sur leurs problématiques de recherche et leurs méthodes.

3.9 Microdrones et conception bio-inspirée

Brieuc Danet, ONERA

La fascination de l'homme pour le vol animal a guidé son désir de concevoir des machines volantes. Pourtant, les formules aérodynamiques aujourd'hui les plus répandues, avion ou hélicoptère, s'écartent largement des modèles du vivant. Complexité des phénomènes mis en jeu, problèmes d'échelle, couplages multi-physiques, technologies peu matures, autant de freins qui ont découragé la mise en oeuvre d'architectures bio-inspirées.

Le domaine des drones, en particulier de très petite taille, ouvre aujourd'hui la voie à des solutions innovantes. Parmi elles, le vol battu pourrait permettre d'atteindre des performances en vol inégalées et de mieux répondre aux missions pour lesquelles cette nouvelle génération d'engins est envisagée. Pour y parvenir, développer les interfaces entre les métiers et domaines de compétence du vivant et de l'aérospatial est indispensable. Cette démarche, collaborative et fortement multidisciplinaire, est au cœur de la problématique de la conception bio-inspirée.

3.10 CEEBIOS : le premier campus dédié au biomimétisme

Francis Pruche & Kalina Raskin, CEEBIOS

Le CEEBIOS (Centre Européen d'Excellence en Biomimétisme de Senlis) est un site de 10 hectares qui sera dédié à la promotion et la mise en oeuvre du biomimétisme comme stratégie de la transition écologique, au bénéfice de l'innovation de demain. Dans un esprit campus, le CEEBIOS est un lieu de formation, de R&D mutualisée, d'accueil d'entreprises engagées et d'événements qui réunira les experts des secteurs académique, entreprise et institutionnel, prêts à collaborer sur les thématiques à forts enjeux sociétaux : matériaux, énergie, chimie verte, agriculture et écologie industrielle.

<http://www.ceebios.com>

3.11 Dispositifs de financement et d'accompagnement pour les *start-up* innovantes

Michel Moulinet, ALMA CG

L'intervention s'attachera à présenter les principaux dispositifs de financement nationaux et européens accessibles aux *start-up* innovantes ainsi que leurs spécificités. Les *start-up* seront alors en mesure de prioriser et cibler les sources de financement en accord avec leur stade de développement et leur stratégie de croissance.



<http://www.association-aristote.fr>

info@association-aristote.fr

ARISTOTE Association Loi de 1901. Siège social : CEA-DSI CEN Saclay Bât. 474, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex.
Secrétariat : Aristote, École Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex.
Tél. : +33(0)1 69 33 99 66 Fax : +33(0)1 69 33 99 67 Courriel : Marie.Tetard@polytechnique.edu
Site internet <http://www.association-aristote.fr>