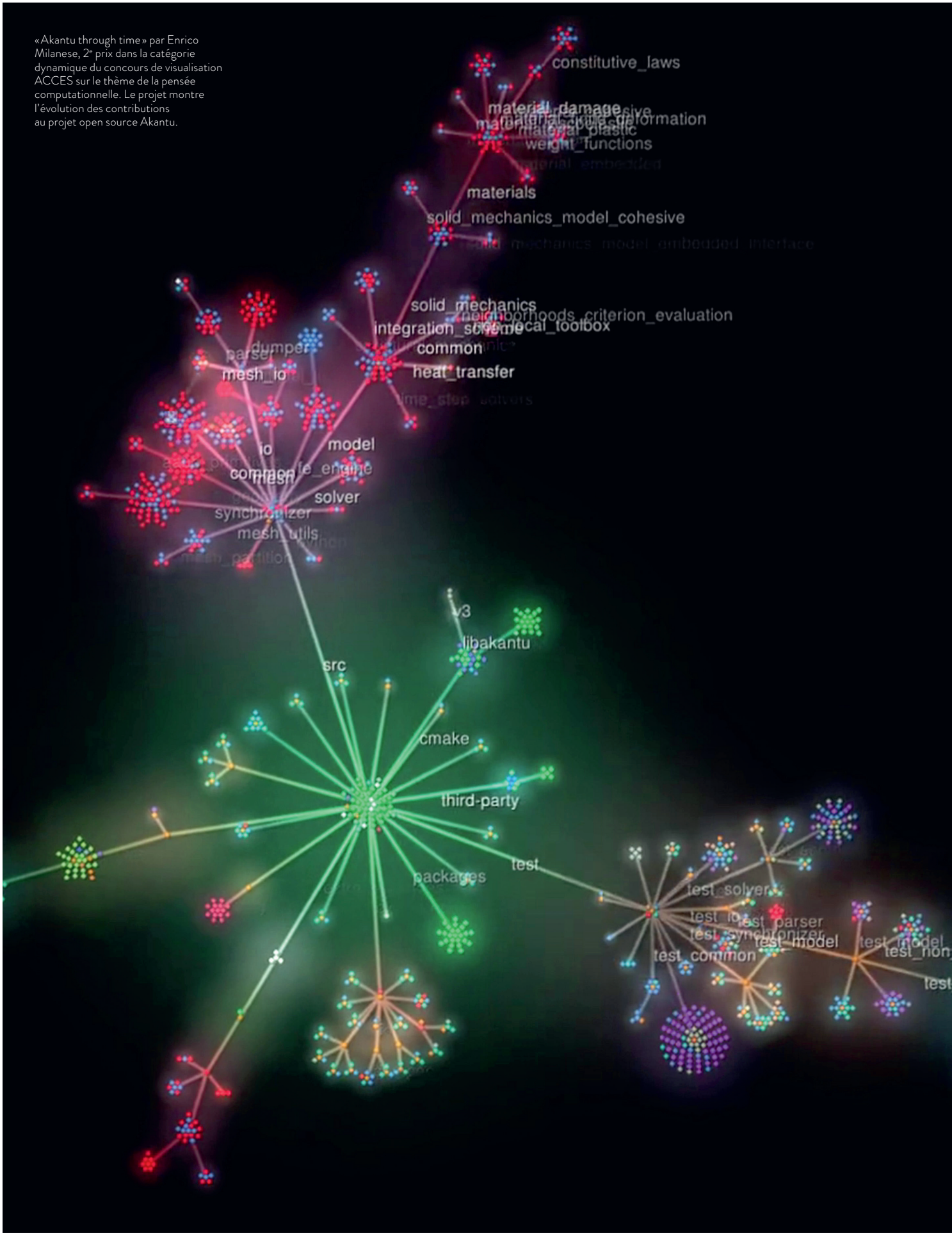



« Akantu through time » par Enrico Milanese, 2e prix dans la catégorie dynamique du concours de visualisation ACCES sur le thème de la pensée computationnelle. Le projet montre l'évolution des contributions au projet open source Akantu.

# L'EPFL à l'heure de la pensée computationnelle

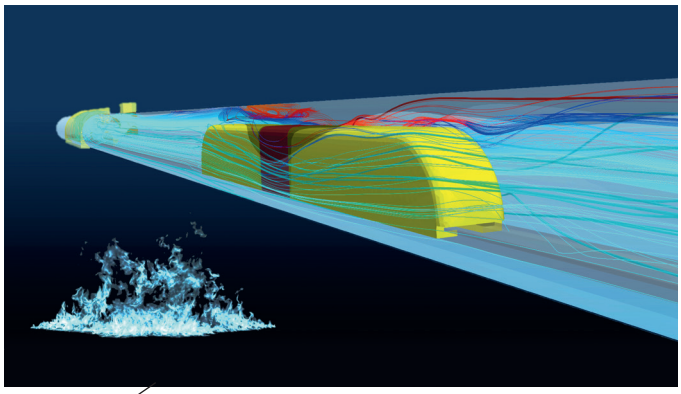
**Pionnière dans l'enseignement de la pensée computationnelle avec la création d'un cours pour tous les futurs ingénieurs, l'EPFL veut renforcer son utilisation jusqu'au Master et au doctorat. Mais qu'est-ce que le computational thinking, cet outil qui a révolutionné la science et dont l'impact se fait sentir jusque dans notre vie quotidienne ? Explications.**

Par **Sarah Aubort**

Les ingénieurs d'aujourd'hui ont une nouvelle corde à leur arc : en plus des mathématiques et de la physique, ils peuvent compter sur la pensée computationnelle. Tout comme la physique et les mathématiques permettent d'exprimer la réalité visible sous forme d'équations rigoureuses, la pensée computationnelle la retranscrit d'une manière compréhensible pour un système informatique. Cet outil permet de résoudre des problèmes extrêmement complexes basés sur de grands ensembles de données, et de réaliser des avancées impossibles jusqu'ici, de la chimie quantique à la simulation de l'univers, en passant par la création de voitures autonomes ou la sélection de votre partenaire idéal sur un site de rencontre. C'est dire si les algorithmes bouleversent presque tous les métiers et les domaines scientifiques, mais influencent également notre vie quotidienne, sans qu'on le réalise forcément.

**Un cours pour tous les étudiants**

L'EPFL a décidé très tôt de former ses étudiants au computational thinking. Dès 2013, elle a développé un cours d'introduction obligatoire baptisé Information, calcul et communication (ICC), destiné à tous les futurs ingénieurs. Une démarche pionnière, renforcée dès la rentrée de septembre 2018, d'une part, par la mise sur pied d'une version unifiée et remaniée de ce cours qui donne des bases générales en informatique. Et, d'autre part, par le lancement d'une réflexion sur la suite à lui donner dans le reste du curriculum (voir pages 8 et 9). « Chaque étudiant doit avoir acquis les bases données en première année, mais ce cours reste une introduction générale. La question est de savoir comment et jusqu'où construire sur cette base commune dans la suite du cursus, souligne Olivier Lévêque, responsable du cours ICC. Le critère principal étant d'assurer que l'enseignement sera toujours d'actualité dans dix ans, car c'est un domaine en constante évolution. »



Train en feu dans un tunnel, projet réalisé par Yamin Sepehri, Ismael Prieto Caballero et Yann Payen dans le cadre du concours de visualisation ACCES.

Dans ce cours et à travers leurs études, les étudiants de l'EPFL sont formés à une démarche et une réflexion spécifiques, indispensable pour éviter les travers potentiels liés à l'utilisation de l'informatique. Car un ordinateur ne réfléchit pas, il ne fait que calculer : une question de départ faussée donnera une réponse correcte pour la machine, mais qui ne correspond pas à la réalité. C'est donc au chercheur d'analyser le problème et de s'assurer que la question est pertinente. « Cette compétence est indispensable aux futurs chercheurs et ingénieurs, car l'utilisation de robots, de senseurs ou de grands ensembles de données fait qu'on ne peut pas appréhender les problèmes avec notre intuition physique, explique Pierre Vandergheynst, vice-président pour l'éducation à l'EPFL. Les compétences nécessaires pour avoir une bonne vision d'ensemble du problème sont donc différentes de celles enseignées par le passé. »

**« Mon domaine de recherche a été transformé »**

Dans les laboratoires de l'EPFL, la question de l'utilisation de la pensée computationnelle peut prêter à sourire, tant c'est aujourd'hui une évidence pour la plupart des chercheurs. « Mon domaine de recherche, la biologie, a été complètement transformé, raconte le professeur Andrew Oates, qui est responsable du groupe de travail EPFL sur le computational thinking. Par le passé, nous cherchions par exemple la séquence du gène responsable de la métabolisation du cholestérol ; alors qu'aujourd'hui nous pouvons poser des questions très complexes et multidimensionnelles, comme trouver les variations de la séquence de ce gène parmi des milliers de personnes à travers le monde, avec des régimes alimentaires variés. »

Pour Guillaume Anciaux, chercheur au laboratoire LSMS (Computational Solid Mechanics Laboratory), la pensée computationnelle est, par définition, au cœur de son travail. « C'est notre outil principal : nous simulons des phénomènes de la mécanique du solide par ordinateur. Avant, il fallait simplifier les domaines d'application des modèles et effectuer des calculs parfois très complexes pour un résultat qu'on ne pouvait pas généraliser. Aujourd'hui, le traitement routinier que nous faisons des problèmes non linéaires est possible grâce à la rapidité de calcul des ordinateurs. On peut aussi façonner de nouveaux modèles via la simulation d'expériences, par exemple à très petite (nano-) échelle, et ainsi observer des mécanismes impossibles à mesurer dans la réalité. » Dans ce laboratoire qui s'intéresse aux propriétés des matériaux, la simulation permet de répéter des expériences qui seraient très coûteuses, voire impossibles à réaliser autrement. « Il serait compliqué de tester l'effet d'un séisme sur un pont, ou les conséquences de la rupture d'un barrage à échelle réelle », explique Nicolas Richart, lui aussi chercheur au LSMS. Qui précise que la science assistée par ordinateur n'a pas pour autant rendu l'expérimentation caduque, au contraire : il la complémente.

**Confronter la simulation à la réalité**

« Le défi pour les chercheurs est de vérifier leurs modèles en comparant des simulations avec le résultat de quelques expériences réalisées sur des points précis. L'idéal est de simuler ce que l'on peut expérimenter : s'il y a concordance, cela donne de la crédibilité à notre modèle », poursuit Nicolas Richart. Une démarche que suit aussi le CERN, qui compare les simulations avec les tests grandeur nature réalisés dans le LHC, le plus puissant accélérateur de particules du monde. « Les chercheurs proposent souvent plusieurs modèles théoriques pour répondre à un problème, et la confrontation avec la réalité de l'expérience reste indispensable pour déterminer lequel est le plus adapté », confirme Guillaume Anciaux.

Il serait donc faux de croire que les ordinateurs ont remplacé une bonne partie du travail du chercheur, ne lui laissant qu'à appuyer sur quelques boutons. « Se reposer entièrement sur les machines, sans interprétation et sans recul, aurait des conséquences dramatiques. Le computational thinking est une démarche qui permet d'analyser le problème correctement et de garder son esprit critique. Le plus dramatique serait de considérer les simulations comme des boîtes noires et d'accepter le résultat sans recul », concluent les deux chercheurs.

**Ces algorithmes qui manipulent nos vies**

Aller au-delà de l'aspect technique d'un problème, voilà un apport essentiel du computational thinking. « Il y a une part de culture générale très importante dans le raisonnement computationnel, indique Pierre Vandergheynst. Nos étudiants doivent prendre conscience du pouvoir de l'outil et des questions éthiques que cela entraîne. On leur apprend que les algorithmes utilisés par les réseaux sociaux sont les mêmes qui pourraient être détournés pour influencer une élection, par exemple. » Des compétences qui devraient être transmises non seulement aux futurs ingénieurs, mais aussi à la population en général, d'après Pierre Vandergheynst. « Ces technologies ont un impact sur la vie des gens, et il est fondamental d'en comprendre à la fois les aspects techniques et les enjeux sociaux. »

Les citoyens de demain devront-ils donc tous être des as de la programmation ? « Je n'irais pas jusque-là, mais il est important pour tout le monde de comprendre les grands algorithmes qui dirigent nos vies », répond le professeur Pierre Dillenbourg, responsable du Swiss EdTech Collider, pépinière de start-ups de l'éducation installé sur le campus. « Par exemple, en tapant « researcher » dans un moteur de recherche, on obtient souvent une forte proportion d'hommes caucasiens. L'algorithme n'est ni sexiste ni raciste, il a simplement été entraîné sur un jeu de données biaisé. Ce problème a un véritable impact sur notre vie, car les gens qui font une recherche prennent l'un des premiers résultats pour le lire. Donc le choix biaisé de cet algorithme a défini ce que je vais lire », souligne Pierre Dillenbourg.

Le résultat est encore plus inquiétant quand on réalise à quel point ces algorithmes peuvent être manipulables, par exemple dans le cas des vidéos recommandées sur YouTube. Elles peuvent être influencées par la fabrication de milliers de faux comptes d'utilisateurs. Il est ainsi possible à une personne malintentionnée d'influencer l'opinion des gens sans qu'ils s'en rendent compte. Un aspect éthique auquel l'EPFL sensibilise ses étudiants. « Quand on fabrique une arme, on se rend bien compte qu'elle peut être dangereuse. Mais aujourd'hui, un simple logiciel de chat peut être utilisé pour manipuler une élection. Les technologies que nos futurs ingénieurs vont créer auront une influence sur le quotidien des gens, et il est crucial qu'ils comprennent les enjeux éthiques et pas seulement l'aspect technique », conclut Pierre Vandergheynst.

## Trois questions à Martin Vetterli, président de l'EPFL

**Comment définiriez-vous la pensée computationnelle et quel est l'impact pour les chercheurs aujourd'hui ?**

Les mathématiques consistent à formaliser des problèmes, c'est-à-dire à décrire formellement l'état de nos connaissances. La physique consiste à modéliser des systèmes complexes pour pouvoir utiliser les mathématiques afin de les résoudre. La pensée computationnelle consiste à formuler des problèmes de telle sorte qu'une méthode computationnelle puisse être utilisée pour y répondre.

C'est ce que font aujourd'hui la plupart des domaines de recherche et d'application, mais historiquement c'est une compétence de base qui n'a pas été enseignée. Notez que pensée computationnelle ne veut pas dire programmation : la programmation utilise un langage pour implémenter une solution qui a été induite par la pensée computationnelle.

**Pourquoi l'EPFL a-t-elle décidé d'être pionnière dans l'enseignement de la pensée computationnelle ?**

Nous avons remarqué que, alors que nous enseignons les mathématiques, la physique et les autres sciences fondamentales dans les premières années du curriculum, la plupart d'entre nous ont besoin des méthodes computationnelles pour trouver des réponses dans la pratique, à la fois dans la recherche et dans ses applications.

Nous avons toutefois choisi de ne pas formaliser ce processus, mais d'enseigner les bases de la pensée computationnelle, qui conduiront ensuite à des compétences plus spécialisées selon les domaines, et qui mèneront naturellement à la science des données, de plus en plus importante dans tous les domaines de la science et de l'ingénierie.

**Quels projets ou quels domaines de recherche pourraient bénéficier à l'avenir d'un apport crucial grâce à la pensée computationnelle ?**

Difficile d'en imaginer un qui n'en bénéficiera pas *[rires]*. Plus sérieusement, à chaque fois qu'on utilise des ordinateurs, la pensée computationnelle est nécessaire ! A l'EPFL, nous croyons que la pensée computationnelle sera le troisième pilier de l'éducation polytechnique, en plus des mathématiques et de la physique.

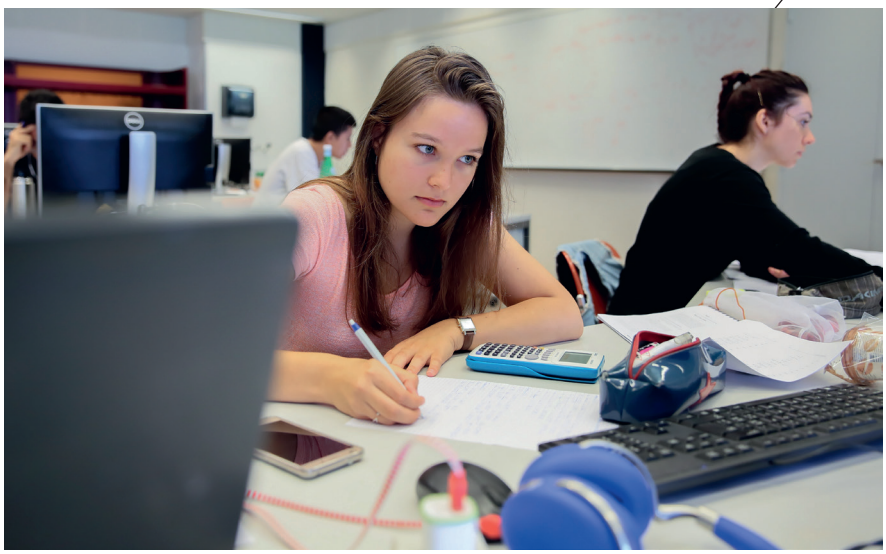
# Enseigner la pensée computationnelle, le défi de demain

**L'EPFL doit-elle enseigner le computational thinking à travers tous les degrés de la formation ? Faut-il adapter les méthodes actuelles d'enseignement, et comment allier au mieux apprentissage théorique et applications pratiques ? Voilà quelques-unes des questions sur lesquelles planche cette année un groupe de travail interdisciplinaire. Un atelier pour débattre de ces enjeux est organisé le 21 mars à l'EPFL.**

Il aura fallu une année de travail à treize personnes pour préparer la première mouture du cours ICC, donné à tous les futurs ingénieurs depuis 2013. Une première, qui a fait de l'EPFL une pionnière dans le domaine. Aujourd'hui, le résultat semble avoir convaincu tout le monde, mais pas question pour l'Ecole de se reposer sur ses lauriers. « Une part de l'intérêt des mathématiques et de la physique durant l'année propédeutique est l'application que les étudiants en feront plus tard dans leurs études d'ingénieur. C'est la même chose pour le computational thinking : on ne donne pas une base aux étudiants pour l'oublier ensuite. Au contraire, elle doit avoir des répercussions sur l'ensemble du cursus », estime Roland Tormey, conseiller pédagogique au Centre d'appui à l'enseignement de l'EPFL.

Dans cette optique, un groupe de travail formé de représentants de chaque section et de personnes intéressées par le sujet réfléchit actuellement à la suite à donner à cet enseignement. Aujourd'hui, de nombreux enseignants utilisent déjà une approche computationnelle dans leurs cours, mais la forme et le fond sont très variables selon les sections. « Chaque étudiant doit avoir acquis les bases données dans le cours ICC en première année. La question est de savoir jusqu'où pousser ces bases par la suite », analyse Olivier Lévêque, responsable du cours ICC. La problématique est la même que pour l'utilisation d'autres outils : jusqu'où un étudiant en microtechnique doit-il maîtriser l'aspect théorique des mathématiques ? « Pour ma part, je pense qu'il est important d'avoir un enseignement qui ne néglige aucune des deux approches, théorique et pratique, cela permet une meilleure compréhension », estime-t-il.

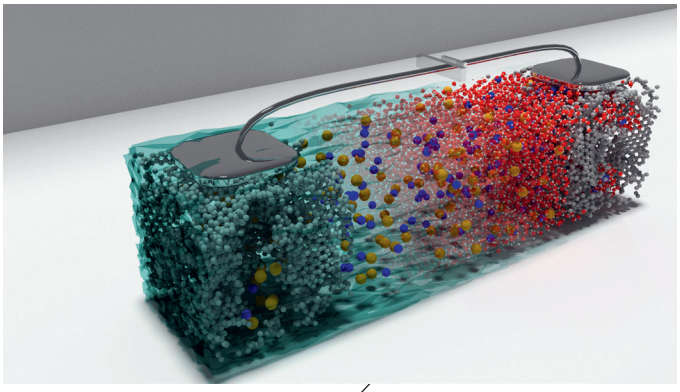
Tous les futurs ingénieurs de l'EPFL suivent en première année le cours Information, calcul et communication, qui leur donne des bases de pensée computationnelle.
© Alain Herzog



Pour plusieurs enseignants, un apprentissage fortement axé sur la pratique est fondamental. « Tout le monde s'accorde sur le fait que les étudiants doivent sortir de l'EPFL avec de bonnes connaissances de pensée computationnelle, souligne la professeure Anna Fontcuberta, qui intègre le computational thinking dans son cours de semi-conducteur au niveau Master. Mais je pense qu'il faut respecter l'approche de chaque discipline. Mes étudiants n'ont pas choisi l'informatique, il faut les intéresser avec une approche pratique. C'est la même chose pour les mathématiques : certains aiment les théorèmes pour leur beauté, et pour les autres c'est un outil. » Un avis partagé par Andrew Oates, professeur et responsable du groupe de travail sur le computational thinking à l'EPFL.
« Personnellement, je suis d'avis qu'il faut ancrer les principes de la pensée computationnelle dans des domaines concrets. Enseigner seulement la théorie reviendrait à montrer une pipette aux étudiants, mais ne pas les laisser l'utiliser en laboratoire. » Pierre Dillenbourg rappelle, pour sa part, que « la diversité est une loi de l'éducation : il faut apprendre les mêmes compétences dans des contextes différents, sous des formes et des approches variées, pour les renforcer et créer des connexions dans le cerveau. L'idéal serait que les éléments de computational thinking soient repris dans la plupart des cours de l'EPFL. Les connaissances transversales doivent s'enseigner transversalement. »

**Un domaine encore en friche**

Que le cours soit modulable pour chaque section ou unifié pour toute l'Ecole, sa création va représenter un effort conséquent pour les enseignants. « C'est un gros effort et il nécessite de réfléchir en profondeur aux méthodes utilisées, notamment les nouveaux moyens d'enseignement. Faut-il des cours ex cathedra, ou mettre l'accent sur les exercices en classe, par exemple ? » relève Olivier Lévêque.
Pour le vice-président pour l'éducation Pierre Vandergheynst, l'enseignement de cette discipline représente un vaste domaine encore en friche. « On enseigne les mathématiques et la physique depuis très longtemps. Pour le computational thinking, tout est à découvrir. Il n'y a pas de lois fondamentales en computational thinking. Faut-il chercher des axiomes de base, ou partir directement dans la complexité, dans des choses qui ne sont pas conceptualisables avec l'intuition ? Cela demande aux étudiants une forme d'abstraction différente, et nous devons leur donner les clés de cet apprentissage. »
Des inconnues qui peuvent susciter des craintes chez les enseignants peu habitués à intégrer une approche computationnelle dans leurs cours. Mais Andrew Oates se dit optimiste sur les chances de développer ce programme ambitieux. « L'EPFL est une école jeune, avec des enseignants motivés et ouverts au changement. Le but est avant tout de voir les excellentes choses qui sont déjà en place et de décider ensemble ce qu'il faut changer. Il est important de maintenir la diversité et la pluralité des opinions, c'est une de nos forces. » Si tout va bien, des projets pilotes devraient être lancés dès l'an prochain pour évaluer leur intérêt. « Je pense notamment à l'enseignement en équipe de deux personnes, pour allier les forces d'une spécialiste du computational thinking avec quelqu'un qui a une connaissance spécifique du domaine d'étude », ajoute Andrew Oates.
Pour débattre de ces questions, l'EPFL invite toutes les personnes intéressées à un atelier le 21 mars prochain, sur le thème du « Teaching Computational Thinking. » « Beaucoup d'enseignants de l'EPFL maîtrisent les outils computationnels parce qu'ils en font usage, mais ils n'ont probablement pas appris cela durant leurs propres études, et ils peuvent se demander comment l'enseigner de manière optimale. C'est entre autres pour discuter de ces questions que nous organisons ce workshop », précise Roland Tormey du Centre d'appui à l'enseignement.



Le projet de Michele Simoncelli « Molecular dynamics in a supercapacitor » a remporté le premier prix dans la catégorie statique du concours de visualisation ACCES.

> PLUS D'INFORMATIONS ET INSCRIPTIONS SUR
**CAPE.EPFL.CH/TCT**

Sandip De a raflé le premier prix de la catégorie « interactive » avec son travail de représentation de structures atomiques grâce à la réalité virtuelle. © Nathalie Jongen/MARVEL

# Un concours de visualisation pour les étudiants

**Représenter des données numériques de manière visuelle, c'était le défi du concours de visualisation ACCES 2017, dont les prix ont été remis fin février. Les projets de cette deuxième édition, avec pour thème le computational thinking, sont exposés à l'EPFL jusqu'au 21 mars.**

Organisée par ACCES, le réseau STI-ENAC, qui a pour but de promouvoir le calcul numérique appliqué aux sciences de l'ingénieur, la deuxième édition du concours de visualisation ACCES a récompensé fin février des projets numériques présentés en images (statiques, dynamiques ou interactives). Vingt-neuf participants, tous étudiants, doctorants ou postdocs de l'EPFL, ont présenté le résultat d'un travail intégrant des concepts du computational thinking.

Les participants ont été jugés selon trois critères : le premier englobe la créativité, la clarté et l'esthétique; le deuxième, la communication visuelle de la science, et le troisième, l'usage qui est fait du computational thinking. « Notre but était que ce concours soit pédagogique, en faisant réfléchir les étudiants aux outils du computational thinking et à l'impact du développement de leurs compétences en communication visuelle sur leur carrière », explique Mark Sawley, maître d'enseignement et de recherche et coordinateur du concours. L'objectif était de sensibiliser les participants à l'importance de la communication par l'image. « En tant que chercheurs et ingénieurs, il est essentiel de montrer notre travail au public de manière claire et intéressante », a souligné lors de la remise des prix Nicola Marzari, président d'ACCES et directeur du NCCR MARVEL (Conception et découverte de nouveaux matériaux par la simulation), coorganisateur du concours.

> LES ŒUVRES DES PARTICIPANTS SONT VISIBLES AU REZ-DE-CHAUSSÉE DU BÂTIMENT MED JUSQU'AU 15 MARS, PUIS DANS L'ATRIUM BC JUSQU'AU 21 MARS.
RETROUVEZ-LES ÉGALEMENT EN LIGNE SUR
> **ACCES.EPFL.CH/CONTEST**
ET DANS LES PAGES DE CE DOSSIER.

**LES GAGNANTS DE CETTE ÉDITION SONT :**

**— Pour la catégorie « statique » :**
1er prix :
Michele Simoncelli, «Molecular dynamics in a supercapacitor»;
2e prix :
Vytautas Navikas, «Ion channel clustering»;
3e prix :
Jonathan Rafael-Patino, «From particle dynamics simulations to a magnetic resonance signal».

**— Pour la catégorie « dynamique » :**
1er prix :
Sina Shamsoddin, «Flow through a vertical-axis wind turbine farm»;
2e prix :
Enrico Milanese, «Akantu through time»;
3e prix :
Sebastian Leguizamon, «A multiscale model of hydroabrasive erosion».

**— Pour la catégorie « interactive » :**
1er prix :
Sandip De, «Interactive virtual reality visualization of atomic structure data»;
2e prix :
Quentin De Longraye, Victor Le et Aymen Gannoumi, «DataMoviz - Deep into the movie scene»;
3e prix :
Raphaël Steinmann, Semion Sidorenko et Alain Milliet, «Evolution of nuclear experiments on our planet».

— Une mention spéciale pour l'utilisation du computational thinking a été décernée à Sebastian Leguizamon.