

numéro

10

# 1024

B U L L E T I N

de la société informatique  
de France

avril

2017

## COMITÉ DE RÉDACTION

SYLVIE ALAYRANGUES  
*Université de Poitiers*

OLIVIER BAUDON  
*Université de Bordeaux*

COLIN DE LA HIGUERA  
*Université de Nantes*

JEAN-PAUL DELAHAYE  
*Université Lille 1*

OLIVIA DUMAS  
*Académie de Caen*

CHRISTINE FROIDEVAUX  
*Université Paris-Sud*

THIERRY GARCIA  
*Université de Versailles Saint-Quentin-  
en-Yvelines*

MARIE-CLAUDE GAUDEL  
*Université Paris-Sud*

CLAUDIA MARINICA  
*Université de Cergy-Pontoise*

PHILIPPE MARQUET  
*Université Lille 1*

EUNIKA MERCIER-LAURENT  
*Innovation 3D et Université Lyon 3*

DENIS PALLEZ  
*Université Nice Sophia Antipolis*

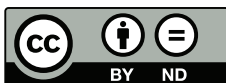
JEAN-MARC PETIT  
*INSA Lyon*

VINCENT RIBAUD  
*Université de Bretagne Occidentale*

ÉRIC SOPENA, *Université de Bordeaux*, rédacteur en chef

Contact : 1024@societe-informatique-de-france.fr

---



*Cette œuvre est mise à disposition sous licence Attribution - Pas de Modification 4.0 France.  
Pour voir une copie de cette licence, visitez*

*<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.fr>*

*ou écrivez à Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California,  
94041, USA.*

SOCIÉTÉ INFORMATIQUE DE FRANCE  
Institut Henri Poincaré, 11 rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05

Prix public : 32 € (adhérents SIF : -30%)

Directeur de la publication : Jean-Marc Petit

ISSN : 2270-1419

*Couverture : d'après une maquette réalisée par Lollygraph.com.*

# SOMMAIRE DU N° 10



Erratum, <i>numéro HS2 de 1024</i> .....	3
<b>SIF</b>	
Mot du président, <i>Jean-Marc Petit</i> .....	5
Actualité de la SIF, <i>Sylvie Alayrangues</i> .....	9
Comment parler de sciences aux jeunes, <i>Journée Sciences et médias 2016</i> .....	19
<b>SCIENCE</b>	
Les grandes thématiques de la recherche actuelle en e-éducation : apprendre avec le numérique, apprendre le numérique, apprendre à l'ère du numérique, <i>ATIEF</i> .....	29
<b>ENTRETIENS</b>	
D'Ésope à Sirac, de Paris à Grenoble, <i>Entretien avec Sacha Krakowiak</i> .....	37
J'ai eu une carrière à l'envers, <i>Entretien avec Claude Kaiser</i> .....	49
Claude Berrou : un turbo dans l'algo, <i>Entretien réalisé par Serge Abiteboul et Christine Froidevaux</i> .....	63
<b>LOGICIEL</b>	
<i>Software Heritage</i> : pourquoi et comment construire l'archive universelle du code source, <i>Roberto Di Cosmo</i> .....	69
<b>HISTOIRE</b>	
Le Cnam : un lieu d'accueil, de débat et d'institutionnalisation pour les sciences et techniques de l'informatique, <i>Cédric Neumann, Loïc Petitgirard et Camille Paloque-Berges</i> .....	75
<b>PRIX ET DISTINCTIONS</b>	
Bilan du prix de thèse Gilles Kahn 2016, <i>Patricia Bouyer-Decitre</i> .....	95
<i>Diverse modules</i> et preuves à divulgation nulle de connaissance, <i>Fabrice Benhamouda</i> .....	97
Adaptation créative par apprentissage, <i>Antoine Cully</i> .....	101
Les mathématiques à rebours de théorèmes de type Ramsey, <i>Ludovic Patey</i> .....	105
La prédiction de valeur comme moyen d'augmenter la performance des processeurs superscalaires, <i>Arthur Perais</i> .....	109
Prix de thèse Gilles Kahn 2017, <i>Patricia Bouyer-Decitre</i> .....	113

**NOTES DE LECTURE**

Les clefs pour l'Info : ENS-Agrégation, <i>Lu par Stéphane Gonnord</i> .....	117
Découvrir le numérique, une introduction à l'informatique et aux systèmes de communication, <i>Lu par Olivier Baudon</i> .....	119

**RÉCRÉATION**

Carré magique impossible ? <i>Jean-Paul Delahaye</i> .....	123
--	-----

Une malencontreuse erreur concernant les chiffres du CNRS s'est glissée dans l'article « *Femmes et Informatique : état des lieux dans l'enseignement supérieur et la recherche* » du numéro HS2 de 1024, février 2017, pages 71–82.

### **Au bas de la page 73, et page 74**

Au lieu de « de 2004 à 2013 la féminisation du CNRS perd 4 points, passant de 22 à 18 % de femmes », il faut lire « de 2004 à 2013 la féminisation du CNRS perd 0,9 points, passant de 20,1 à 19,2 % de femmes ».

### **Figure 4, page 74**

Cette figure doit être revue en conséquence, ainsi que la phrase qui la suit : au lieu de « La perte de 4 points du CNRS, plus forte encore que celle de l'université, est par contre inquiétante », lire « La perte de 0,9 points du CNRS est par contre inquiétante ».

La version rectifiée de cet article est disponible sur le site de la SIF :

[http://www.societe-informatique-de-france.fr/bulletin/  
1024-hors-serie-numero-2/](http://www.societe-informatique-de-france.fr/bulletin/1024-hors-serie-numero-2/)

N.B. Cet article a été écrit début 2015, à l'occasion du congrès de la SIF sur le thème « Femmes & Informatique ». Il ne prend en compte que les chiffres jusqu'en 2013. En 2014 et 2015, le début de rattrapage mentionné pour Inria en 2013 s'est manifesté aussi au CNRS.

Marie-Claude Gaudel et Brigitte Rozoy





## Mot du président

Jean-Marc Petit <sup>1</sup>

---

Chère adhérente, cher adhérent,

Comme chacun.e de nous peut le constater, les algorithmes ont la cote dans notre société. Tout le monde s'en empare et en parle : ils sont tour à tour éthiques, politiques, intelligents... et au final encore très mystérieux pour nos concitoyen.ne.s. Comme tout ce qui est mal compris, ils sont la source de fantasmes, de peurs et d'incompréhension. Ils sont aussi de parfaits boucs émissaires pour faire porter des décisions inavouées ou inavouables prises dans un contexte où l'informatique en général – et les algorithmes en particulier – reste entourée d'une brume épaisse. Il est plus facile de clamer que les dysfonctionnements d'un service sont dus « à un algorithme », que d'expliquer comment les logiciels ont été implémentés par des informaticien.ne.s pour faire fonctionner ce service. Du portail d'admission post-bac aux tarifications des sociétés d'assurance ou des compagnies aériennes, les exemples sont nombreux !

Cela dit, nous ne pouvons que nous réjouir de voir la société française s'emparer des questions posées par les algorithmes. Cela donne à la SiF un rôle très particulier pour expliquer et donner du sens aux problèmes posés. Dans ce contexte, la SiF organise avec la CERNA une journée, le 19 juin 2017, intitulée « *Une éthique des algorithmes : une exigence morale et un avantage concurrentiel* »<sup>2</sup>. Cette journée rentre dans le cadre de la consultation nationale coordonnée par la CNIL, *Éthique et numérique : les algorithmes en débat*.

---

1. Président de la Société informatique de France, professeur à l'INSA de Lyon, LIRIS (UMR 5205 CNRS), jean-marc.petit@insa-lyon.fr, twitter : @calixtepetit.

2. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/journee-ethique-dans-la-conception-et-lutilisation-des-algorithmes/>

Dans un monde où la communication prend parfois le pas sur le fond des sujets, il s'agit de rester fidèle et exigeant, tout en adoptant une communication audible. Vaste sujet s'il en est...

o O o

Dans ce concert, je souhaite revenir sur la filiation entre l'informatique et les mathématiques, où les algorithmes sont un maillon essentiel. En effet, un algorithme est souvent vu comme une preuve constructive d'un résultat qui peut être énoncé comme un théorème. Autrement dit et pour faire court, « *un algorithme, c'est la preuve d'un théorème* ». C'est la porte d'entrée d'une partie des mathématiques vers l'informatique.

Cela mène naturellement à s'interroger sur la notion d'algorithme. De quoi parlons-nous exactement ?

Un algorithme peut être vu comme un « procédé »<sup>3</sup> ou « une façon de faire »<sup>4</sup>. Ces définitions sont inclusives : elles englobent la vision de preuve constructive, tout en allant bien au-delà. Tout ne se réduit pas à l'algorithme d'Euclide pour le calcul du PGCD de deux nombres entiers ! Interrogeons-nous sur ce que serait le théorème explicitant l'interaction d'un enfant avec une manette de jeu pour son application favorite. Plus généralement, construire une interface humain-machine relève-t-elle d'une preuve constructive ? ou est-ce tout simplement une *façon de faire* l'interaction entre l'humain et la machine ?

Les concepts liés au *pattern* Modèle-Vue-Contrôleur<sup>5</sup> permettent de séparer diverses notions relatives à la construction de l'interaction : *modèles* pour les données, *vues* pour leur présentation dans l'interface et *contrôleurs* pour traiter les actions des utilisateurs pour agir sur le modèle. En pratique, on construit l'interface, on la teste, on la modifie et on itère jusqu'à convergence, c'est-à-dire la satisfaction d'un panel de personnes. C'est une démarche scientifique « de bon sens » pour construire une interaction, qui semble, convenons-en, bien difficile à énoncer comme un théorème et démontrer avec une preuve constructive !

Ces remarques posent une des énigmes de notre époque, très franco-française : le désir d'enfermer l'informatique sous les mathématiques. Nous partageons avec les mathématiques de nombreuses choses, comme la rigueur de raisonnement, les capacités d'abstraction et des sujets communs d'étude, mais cela ne fait guère plus de sens que de l'enfermer sous l'électronique et la physique, la biologie, les sciences sociales... Cela occulte des pans entiers de notre discipline et n'est bon pour personne.

3. *Le temps des algorithmes*, Serge Abiteboul et Gilles Dowek. Éditions Le Pommier, janvier 2017.

4. Communication personnelle de Maurice Nivat

5. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle-vue-contrôleur>

On dit souvent que la victoire a toujours beaucoup de paternité, mais que la défaite est orpheline. L'informatique est donc une grande victoire. Essayons d'en revendiquer la pleine paternité !

o O o

De façon plus concrète, je vous laisse à la lecture de ce 10<sup>e</sup> numéro de 1024, qui devrait vous ravir l'esprit et vous montrer, une fois encore, comment la SiF se mobilise semaine après semaine pour la promotion de notre discipline.





## Actualité de la SIF

Informations collectées par Sylvie Alayrangues

---

*Une rubrique pour vous tenir informé de la vie de la SIF et vous inviter à y participer. Vous trouverez notamment ici des annonces de manifestations organisées ou soutenues par la SIF, un point sur les dossiers en cours, des appels à participation...*

### La SIF vous parle d'elle

#### ***Le printemps des (renouvellements d') adhésions***

Vous avez peut-être reçu un email de rappel pour un renouvellement de cotisation, la vôtre ou celle de votre structure (département d'enseignement, laboratoire, entreprise...).

La légitimité de la SIF et des actions qu'elle entreprend ou soutient, dont vous avez un aperçu partiel dans les pages qui suivent, vient évidemment de vous ainsi que de ses adhérents institutionnels. Alors n'hésitez plus :

*En mai (ou même avant), pensez à (ré-)adhérer et à faire (ré-)adhérer !*

#### ***Assemblée générale 2017***

L'assemblée générale 2017 a eu lieu lors du congrès 2017. Elle a été l'occasion d'un retour sur les actions de l'année écoulée <sup>1</sup>.

Outre l'élection partielle du CA dont il sera question un peu plus loin, elle a aussi été l'occasion de franchir une étape de plus vers la reconnaissance de la SIF comme ARUP (Association reconnue d'utilité publique). Le dossier est maintenant entre les

---

1. Voir le diaporama sur le site de la SIF : <http://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2017/04/2017-AG-Reims-a-diffuser.pdf>

mais des ministères de tutelle. On peut raisonnablement espérer que la demande sera intégralement traitée d'ici fin 2017.

Un grand merci à tous nos adhérents qui sont venus voter en personne ou ont fait établir une procuration permettant ainsi d'atteindre le quorum indispensable pour voter la modification de statuts.

### *Du côté du Conseil d'administration*

Lors du congrès annuel, le conseil d'administration a été partiellement renouvelé. Une bonne occasion pour remercier Frédéric Gervais, Gaëtan Rey et Pierre Gançarski, arrivés en fin de mandat, pour leur engagement dans la vie de la SIF. On retiendra notamment (mais pas seulement) leur implication pour la gestion de nos adhérents (Frédéric), pour le site web de la SIF et le groupe de travail autour de la refonte du C2i (Gaëtan), ainsi que dans la mise en place du conseil des associations, et l'organisation du congrès 2016 à Strasbourg (Pierre).

Olivier Baudon, Thierry Garcia, Philippe Marquet, Élisabeth Murisasco, Nicolas Passat et Jean-Marc Petit ont vu leur mandat renouvelé.

Nous accueillons également trois nouveaux administrateurs.

Anne-Elisabeth Baert est maître de conférences à la faculté des sciences de l'Université de Montpellier et effectue sa recherche au LIRMM (Laboratoire d'informatique, de robotique et de microélectronique de Montpellier). Déjà fortement impliquée dans la vie de son établissement, elle souhaite participer aux réflexions et actions pour la promotion de l'informatique. Elle s'intéresse plus particulièrement à la place de l'informatique depuis l'école primaire jusque dans l'enseignement supérieur.

Denis Pallez est également maître de conférences, en poste au département informatique de l'IUT Nice Côte d'Azur. Il effectue sa recherche au laboratoire I3S (Laboratoire d'informatique, signaux et systèmes de Sophia Antipolis). Déjà impliqué dans la vie de la SIF puisqu'il fait partie depuis son origine du comité de rédaction de 1024, son premier objectif en tant qu'administrateur est de contribuer à la promotion de la recherche en informatique en France. Fort d'une expérience à l'international, il pourra également œuvrer pour l'informatique hors de nos frontières.

Philippe Rigaux est actuellement professeur au CNAM après avoir été ingénieur en société de services, maître de conférences puis professeur dans différentes institutions, détaché sur un projet de 3 ans à Inria et créateur d'entreprise. Spécialiste de bases de données, il travaille depuis 2014 sur l'informatique musicale. Riche d'une expérience multiple, à la fois académique et industrielle, il a pu constater, dans les divers milieux professionnels qu'il a côtoyés, les malentendus qui existent sur la nature même de l'informatique, souvent perçue comme un simple outil, ou un ensemble de techniques. En intégrant le conseil d'administration de la SIF, son objectif est de contribuer à construire et diffuser une perception plus juste de l'informatique.

À l'issue de la première réunion du CA nouvellement élu, Jean-Marc Petit et le bureau qu'il a proposé pour l'entourer ont été élus à l'unanimité.

### ***Du côté du Conseil scientifique***

Rappelons tout d'abord que les comptes-rendus du Conseil scientifique de la SIF sont accessibles en ligne <sup>2</sup>.

La dernière réunion de ce conseil s'est déroulée le 1<sup>er</sup> mars dernier dans les locaux de l'École normale supérieure à Paris.

Elle accueillait deux invités : Christine Balagué, qui a réalisé une intervention sur la gouvernance des algorithmes <sup>3</sup>, et Marc de Falco, invité permanent représentant l'Union des professeurs de classes préparatoires scientifiques (UPS).

Parmi les points débattus <sup>4</sup>, des discussions ont porté sur les concours qui mènent à l'enseignement : Agrégation et CAPES. Pour le premier, des réflexions sont en cours sur l'avenir de l'informatique au sein de ce concours. Plusieurs pistes sont envisagées... Le CS soutient la création d'une agrégation d'informatique, englobant notamment les options informatique déjà présentes dans d'autres agrégations. Cette approche permettrait de regrouper les différentes facettes des besoins en informatique dans l'enseignement secondaire au sein d'un seul et même concours.

Le CS propose également une évolution de l'organisation du prix de thèse Gilles Kahn. Il s'agirait de procéder de manière similaire à celle utilisée par l'Académie des Sciences pour les nominations : établir deux « *short list* » des femmes et des hommes candidats, puis établir une nouvelle sélection à partir de ces deux listes, sélection sur laquelle serait basée la proposition finale du lauréat et de ses accessits.

### ***Du côté du Conseil des associations***

Le conseil des associations s'est réuni le 1<sup>er</sup> février dernier à Paris au LIP6. Étaient présents des représentants de la SIF, de l'ASF, de l'AFIHM, d'INFORSID, de l'ATIEF, de l'AFIG, d'ACM Siggraph France, de SPECIF Campus, de l'ACONIT, de l'EPI, d'EGC et d'ATALA.

De nombreuses questions ont été abordées que l'on peut retrouver dans le compte-rendu de cette réunion <sup>5</sup>.

On peut notamment se réjouir de la complémentarité entre les journées scientifiques proposées par les différentes associations sur les thématiques de leur cœur de

---

2. <http://societe-informatique-de-france.fr/la-sif/conseil-scientifique-de-la-societe-informatique-de-france/>

3. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2017/03/expos%C3%A9C.Balagu%C3%A9.pdf>

4. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2017/03/2017-03-01CScomptere rendu.pdf>

5. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2017/02/2017-02-01ConseildesAssociationsCR.pdf>

métier et les journées thématiques de la SIF qui se focalisent sur des sujets émergents non (encore) pris en charge par une association thématique.

Les associations sont également encouragées à promouvoir le travail des jeunes docteurs de leur discipline en les incitant à postuler au prix de thèse Gilles Kahn (notamment ceux dont le travail a déjà été reconnu par l'association via un prix de thèse ou un prix du meilleur article).

Des projets de collaboration continuent à émerger, notamment autour de la cabale informatique, et plus généralement de la médiation scientifique en informatique. Des discussions autour de l'enseignement de l'informatique de l'école primaire au supérieur sont également prévues lors des prochaines rencontres.

### *À l'international*

Le comité de pilotage IFIP France s'est retrouvé le 7 mars dernier. Plusieurs points ont été discutés : la politique de publications de l'IFIP, la désignation du futur représentant de la France à l'IFIP, de futures publications dans le bulletin 1024, le rôle des représentants de la France au sein des TC de l'IFIP, et les relations entre l'IFIP et l'UNESCO. Une journée IFIP France est prévue le 20 juin à Paris.

Dans un autre registre, la SIF collabore avec Campus France à la rédaction d'une fiche sur la recherche en informatique en France. La parution de cette fiche est envisagée avant fin 2017.

### *Membres d'honneur de la SIF*

Quatre nouvelles personnalités ont fait leur entrée parmi les membres d'honneur de la SIF.

Louis Bolliet, professeur des universités retraité, a eu une activité professionnelle riche au service de la discipline. Outre ses travaux de recherche autour de la compilation des langages de haut niveau, il s'est toujours attaché à tisser des liens entre les milieux académique et industriel. Il s'est également engagé pour la préservation de la mémoire de la science informatique, notamment en organisant le premier colloque sur l'histoire de l'informatique et en contribuant à fonder l'ACONIT<sup>6</sup> (Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique).

Dominique Borriane, professeur émérite à l'université de Grenoble, a travaillé autour des systèmes matériels numériques, à la fois sur les langages de description et de simulation de tels systèmes, mais aussi sur les méthodes formelles et semi-formelles déployées dans ce contexte. Durant sa carrière, elle a été amenée à diriger successivement deux laboratoires de recherche de Grenoble.

Pendant sa vie professionnelle, Véronique Donzeau-Gouge, actuellement professeur émérite au CNAM et déléguée scientifique au HCERES, a pu servir différents organismes de recherche, que ce soit Inria, le CNAM ou le CNRS dont elle a été

---

6. <http://www.aconit.org>

directrice adjointe scientifique. Ses recherches ont essentiellement porté sur les environnements de programmation, la sémantique formelle des langages de programmation, le développement de logiciels sûrs et la certification des systèmes logiciels. Certains parmi vous ont également pu apprécier, en tant qu'étudiants ou enseignants, le livre « Concepts et outils de programmation : le style fonctionnel, le style impératif avec CAML et Ada » co-écrit avec Thérèse Accart Hardin au début des années 90.

Jean-Marie Hullot, enfin, est un innovateur dans l'âme. Après des études à l'ÉNS et une thèse soutenue en 1980 à l'université d'Orsay, il fait un passage par Inria, où il invente le premier éditeur d'interface graphique dont il fera, par la suite, un produit commercial. Sa rencontre avec Steve Jobs à la fin des années 80 change le cours de sa carrière... et par ricochet, de celle de Steve Jobs puisque les compétences techniques et la créativité de Jean-Marie Hullot ont largement contribué au succès de nombreux projets, d'abord chez NeXT puis chez Apple. Il est notamment crédité de l'idée originale de l'iPhone.

Pour en découvrir davantage sur ces quatre acteurs de la science informatique, n'hésitez pas à écouter ou regarder les témoignages qu'ils ont partagés à l'occasion de leur intronisation comme membres d'honneur lors du congrès de Reims<sup>7</sup>.

## La SIF vous propose

### *Retour sur le congrès 2017*

Du congrès 2017, dense parce que se présentant dans un nouveau format resserré sur deux jours, on retiendra, outre les interventions passionnées des jeunes lauréats du prix de thèse Gilles Kahn et des toujours jeunes membres d'honneur, l'intervention inspirée et inspirante de Gérard Berry sur « La révolution numérique dans les sciences ». On n'oubliera pas non plus le thème qui était au cœur du congrès : la question des compétences numériques.

Le premier jour, on s'intéressait aux compétences numériques de tout un chacun. Nathalie Denos, Benjamin Marteau et Jill-Jënn Vie sont ainsi venus présenter le dispositif Pix, nouvelle proposition pour évaluer, voire inciter à développer, les compétences « numériques » de tout citoyen. Marc Tommasi nous a, quant à lui, décrit un dispositif d'acculturation à l'informatique déployé à grande échelle à l'université de Lille 3. Après avoir présenté leurs approches respectives, ils ont échangé, à l'occasion d'une table ronde, sur les méthodes pour transmettre cette culture et évaluer l'impact des dispositifs de transmission.

Le second jour, les interventions se sont focalisées sur les compétences numériques vues au travers du prisme de l'enseignement. Françoise Tort a expliqué la genèse des programmes des enseignements ICN (Informatique et création numérique).

---

7. [http://www.societe-informatique-de-france.fr/la-sif/membres\\_d\\_honneur/membres-honneur-2017/](http://www.societe-informatique-de-france.fr/la-sif/membres_d_honneur/membres-honneur-2017/)

Jean-Marc Vincent a abordé la question sous l'angle de la formation des enseignants, en relatant l'expérience mise en place dans l'académie de Grenoble. Pour conclure, Marine Roche s'est intéressée à l'évaluation de l'efficacité des dispositifs de formation des enseignants du primaire à l'informatique.

Les vidéos du congrès sont dès à présent en ligne<sup>8</sup>.

### ***Retour sur la journée Blockchain : vidéos en ligne***

Pour tous ceux et toutes celles qui voudraient voir ou revoir les exposés de la journée Blockchain qui a eu lieu en novembre dernier, les vidéos sont maintenant également accessibles en ligne<sup>9</sup>.

### ***Retour sur la journée Patrimoine-Logiciel - 23 mars 2017***

Cette journée<sup>10</sup> a été organisée par la SIF en partenariat avec Inria Alumni.

Une cinquantaine de personnes étaient présentes pour écouter les interventions de Roberto Di Cosmo (Inria) autour du projet « *Software Heritage* », d'Isabelle Astic et Anne-Sophie Rozay, au sujet de « la sauvegarde du logiciel en milieu patrimonial », d'Élodie Bertrand traitant de « logiciel et dépôt légal » et de Vincent Joguin sur la question suivante : « Logiciel, patrimoine (im)matériel ? Approche de la pérennisation par une machine virtuelle aux limites du matériel et du logiciel ».

La journée s'est conclue par une table ronde rassemblant les différents orateurs, animée par Pierre Paradinas.

### ***Journée sur l'éthique des algorithmes - 19 juin 2017***

La SIF et la CERN (Commission de réflexion sur l'éthique de la recherche en sciences et technologies du numérique d'Allistene) organisent conjointement une journée sur l'éthique des algorithmes.

Elle aura lieu le 19 juin prochain dans les locaux de Telecom ParisTech.

Tous les renseignements et le programme prévisionnel sont accessibles sur la page dédiée à l'événement<sup>11</sup>.

---

8. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/congres/congres-de-la-sif-2017/>

9. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/2017/01/video-de-la-journee-blockchain/>

10. [http://www.societe-informatique-de-france.fr/patrimoine\\_logiciel](http://www.societe-informatique-de-france.fr/patrimoine_logiciel)

11. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/journee-ethique-dans-la-conception-et-lutilisation-des-algorithmes/>

## *Class'Code*

Quatre des cinq modules du programme Class'code sont maintenant en ligne. Le cinquième module, autour de l'approche par projet, est actuellement en cours de finalisation et devrait être accessible courant mai.

Pour les personnes qui disposent de peu de temps et souhaitent néanmoins acquérir un premier vernis d'informatique, une formation express est également proposée avec les briques de base, incontournables pour démarrer... et susciter, on l'espère, le besoin et l'envie d'aller plus loin.

## **La SIF soutient**

### *Le prix de thèse Gilles Kahn*

Les récipiendaires du prix 2016 se sont vu remettre leur récompense lors du congrès. Trois d'entre eux étaient présents et ont, avec brio et pédagogie, présenté les travaux qui les ont conduits sur le podium.

Le lauréat, Fabrice Ben Hamouda-Guichoux<sup>12</sup>, a été récompensé pour sa thèse « *Diverse modules and zero-knowledge* », soutenue à l'École normale supérieure, et préparée dans l'équipe Crypto du DI/ENS (équipe-projet Inria Cascade), sous la direction de Michel Ferreira Abdalla et de David Pointcheval.

Exceptionnellement, trois accessits ont été décernés cette année. Les récipiendaires (par ordre alphabétique) en sont :

- Antoine Cully<sup>13</sup> pour sa thèse « *Adaptation créative par apprentissage* », soutenue à l'université Pierre et Marie Curie, et préparée à l'ISIR, sous la direction de Stéphane Doncieux et Jean-Baptiste Mouret,
- Ludovic Patey<sup>14</sup>, pour sa thèse « *Les mathématiques à rebours de théorèmes de type Ramsey* » soutenue à l'université Paris Diderot, et préparée à l'IRIF, sous la direction de Laurent Bienvenu et Hugo Herbelin,
- Arthur Pérais<sup>15</sup>, pour sa thèse « *Increasing the Performance of Superscalar Processors through Value Prediction* », soutenue à l'université de Rennes 1, et préparée dans l'équipe-projet Inria ALF de l'IRISA, sous la direction d'André Seznec.

---

12. <https://www.normalesup.org/%7Efbenhamo/>

13. <http://www.antoinecully.com/>

14. <https://ludovicpatey.com/>

15. <http://people.irisa.fr/Arthur.Perais/>

### ***Le prix Novelli***

En 2016, le prix est revenu à Nicolas Daire pour son jeu 3D-Mineur, développé lorsqu'il était en classe de première. Comme dans un démineur classique, il s'agit de localiser l'emplacement de toutes les bombes présentes sur un terrain miné. L'originalité de cette version repose sur le fait que le terrain miné est ici en 3D ! Comme chaque année, l'application gagnante sera, dans les prochains mois, transformée en application mobile professionnelle par des partenaires du concours.

L'an prochain, le concours s'ouvre à d'autres participants : des étudiants de Bac+1 à Bac+3 pourront ainsi concourir dans une catégorie qui leur sera réservée.

### ***Le concours Science & Humour***

Vous aimez la science et avez des talents artistiques ? Le concours Science & Humour, dont la SIF est partenaire, est fait pour vous. Ce concours d'images (dessins, BD, photos...), parrainé par Cédric Villani et piloté par la Société française de physique (SFP), s'adresse aux scientifiques en herbe comme aux confirmés et porte sur le sujet suivant : « Montrer la science et/ou la vie des chercheuses et chercheurs sur un ton décalé et humoristique ».

Vous retrouverez tous les détails sur les modalités du concours, les dotations prévues pour les vainqueurs et le devenir des œuvres produites sur notre site <sup>16</sup>.

Date limite pour envoyer sa production artistique : le 2 mai.

## **La SIF prend position et agit**

Petit à petit, des revues de presse spécifiques se mettent en place pour partager avec vous les actualités recensées sur des thèmes donnés.

Vous pouvez d'ores et déjà vous abonner à notre revue de presse sur « l'enseignement de l'informatique : primaire et secondaire » <sup>17</sup> ou sur le thème « femmes et informatique » <sup>18</sup>.

### ***En enseignement***

2017 est la première année d'existence du CAPES de mathématiques option informatique. On peut noter cette année une nette progression du nombre de candidats présents au CAPES de mathématiques : 740 candidats supplémentaires par rapport à l'an passé. On remarque également que les candidats à l'option informatique représentent 12% des présents aux épreuves d'admissibilité.

---

16. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/2017/02/ouverture-du-concours-science-humour-parraine-par-cedric-villani/>

17. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/revue-presse-ens-info/>

18. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/revue-de-presse-femmes-info/>

Ces chiffres ont été communiqués par Laurent Chéno, inspecteur général de mathématiques, lors de la journée ISN-EPI, intitulée IDEES (Informatique : Didactique Et EnseignementS), qui était organisée à Nancy le 30 mars dernier<sup>19</sup>.

Par ailleurs, la SIF continue d'œuvrer et de militer pour que la discipline informatique soit reconnue comme telle dès le collège et le lycée. Un communiqué publié début avril précise la position et les attentes de la SIF sur ce point<sup>20</sup>.

Sur ce chemin, la SIF est régulièrement rejointe par d'autres. Ainsi, le 3 avril dernier était signé un partenariat entre la SIF et l'Union des professeurs de classes préparatoires scientifiques (UPS). Outre la reconnaissance de l'informatique comme discipline à part entière dans le secondaire, la SIF et l'UPS souhaitent avancer ensemble pour contribuer à développer la pensée informatique chez les étudiants de classe préparatoire, identifier les compétences informatiques à transmettre pour répondre aux enjeux scientifiques de la société en devenir, et réfléchir ensemble sur les sujets d'avenir liés à l'informatique et à son enseignement.

### *Sur les enjeux de société*

La SIF a doublement interpellé les candidats à la présidentielle. En janvier, en partenariat avec l'association Enseignement public et Informatique (EPI), avec le soutien de l'Union des professeurs de classes préparatoires scientifiques (UPS) et de la Conférence des grandes écoles (CGE), la SIF questionnait les candidats à la présidence de la République sur l'enjeu à la fois sociétal et éducatif qu'est la transmission à tout citoyen d'une culture générale de son époque, incluant désormais l'informatique<sup>21</sup>. En mars, elle s'associait à la Société française de physique, la Société de mathématiques appliquées et industrielles et la Société mathématique de France, et interpellait à nouveau les candidat(e)s à l'élection présidentielle via une tribune « Présidentielle, n'oublions pas la science »<sup>22</sup>.

La SIF regarde également au-delà de nos frontières et s'est associée à la Conférence des présidents d'universités (CPU) pour dénoncer le décret américain sur l'immigration qui met en péril la libre circulation des connaissances et des idées<sup>23</sup>.

Autre action visant à lutter contre l'obscurantisme, la Marche pour les sciences, à laquelle se joint la SIF, rassemble des acteurs de divers horizons : associations de médiation scientifique, de journalistes scientifiques, de défenseurs de l'environnement, regroupements de scientifiques (notamment via les sociétés savantes), personnalités

---

19. <http://idees.loria.fr/index.php?n=Main.ProgrammeJourneeISN-EPI2017>

20. [http://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2017/04/2017\\_03-Communique%CC%81-SIF-Agregation.pdf](http://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2017/04/2017_03-Communique%CC%81-SIF-Agregation.pdf)

21. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/2017/01/enseigninfo2017-aux-candidates-et-candidats-a-la-presidence-de-la-republique/>

22. [http://www.societe-informatique-de-france.fr/2017/03/presidentielle\\_n\\_oublions\\_pas\\_la\\_sciences/](http://www.societe-informatique-de-france.fr/2017/03/presidentielle_n_oublions_pas_la_sciences/)

23. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/2017/02/decret-americain-sur-limmigration-une-entrave-au-progres-scientifique/>

scientifiques ou non... Cet événement citoyen se veut un grand rendez-vous entre le public et les scientifiques autour de quatre axes, la défense de l'indépendance des recherches scientifiques publiques, la promotion du dialogue entre sciences et société, le renforcement de la culture scientifique de tout citoyen qui passe par une refonte de l'enseignement des sciences, et le déploiement de méthodes et résultats scientifiques dans les processus de décision politique.

Plus tôt dans l'année, la SIF a également lancé une alerte au sujet des dérives auxquelles pourrait conduire l'instauration du nouveau fichier « titres électroniques sécurisés » (TES) en l'absence de réflexion approfondie sur les questions techniques, éthiques et sociétales posées par sa création<sup>24</sup>.

Enfin, comme vous l'aurez sans doute compris en regardant les événements proposés, la SIF participe également activement à la démarche de la CNIL qui lançait en janvier dernier un cycle de débats publics sur le thème « Éthique et numérique : les algorithmes en débat ».

---

24. <http://www.societe-informatique-de-france.fr/2017/01/motion-de-la-sif-sur-le-fichier-tes/>



## Comment parler de sciences aux jeunes

Journée Sciences et médias 2016<sup>1</sup>

*Le 1<sup>er</sup> février 2016 s'est tenue à la préfecture de Paris et d'Île-de-France (5, rue Leblanc, Paris, 15<sup>e</sup>) la 3<sup>e</sup> journée Sciences et médias. Ces journées sont organisées tous les deux ans par des sociétés savantes scientifiques. Se sont associées cette année la société chimique de France (SCF), la Société française de physique (SFP), la Société française de statistique (SFdS), la Société informatique de France (SIF), la Société de mathématiques appliquées et industrielles (SMAI) et la Société mathématique de France (SMF). Le but de ces journées est de participer à la réflexion sur la façon dont les médias se saisissent des questions scientifiques.*

Le thème retenu cette année concernait « les jeunes », et plus précisément les enfants et les adolescents. La formation à la science, y compris à la démarche scientifique, constitue un élément important de la construction intellectuelle des jeunes citoyens, en particulier à notre époque où sciences et technologie évoluent rapidement et prennent une place grandissante dans le débat public. L'information *via* les médias vient en complément de l'école, elle permet d'aborder les sciences avec un rythme différent, d'en donner le goût et de favoriser des vocations. Elle est également utile aux enseignants et formateurs.

### Sciences | Médias

Comment parler de sciences aux jeunes

1<sup>er</sup> février 2016

à la préfecture de Paris et d'Île de France

Quels outils médiatiques pour parler de sciences aux enfants et aux adolescents ?



Inscription gratuite et obligatoire

[www.sciencesetmedia.org](http://www.sciencesetmedia.org)



Illustration : Olivier Pignatelli



1. Article rédigé par le comité d'organisation : Aline Bonami, Daniel Bideau, Daniel Hennequin, Sylvie Alayrangues, Halima Hadi, Samuel Guibal, Cyril Imbert.

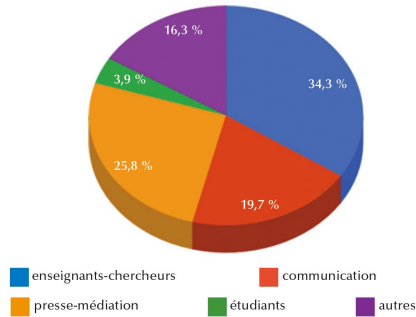


FIGURE 1. Répartition des inscrits par domaine d'activité.

Le programme de la journée était construit dans le but de répondre par exemple aux questions suivantes : Comment communiquer selon les âges ? Comment prendre en compte la transition enfance / adolescence ? Quels médias, quels contenus sont les plus adaptés ? Comment les jeunes s'approprient-ils les médias ? Comment lutter contre les stéréotypes (genrés, sociaux...) qui constituent des freins à l'intérêt de tous, et en particulier des jeunes filles, pour les sciences ?

Le public était venu nombreux ce lundi 1<sup>er</sup> février assister à la dizaine d'interventions / échanges. Pas moins de 219 inscrits (Figure 1), auxquels il faut rajouter 90 connexions sur la page où était diffusé le direct. Dans ce dernier chiffre, n'apparaissent bien sûr que les personnes qui se sont connectés pendant le direct, et on ne compte qu'une fois les adresses IP. On peut donc estimer à plus de 300 le nombre de personnes qui ont assisté à au moins une partie de la journée.

Chaque intervention d'une vingtaine de minutes était suivie d'un échange avec le public. L'ensemble peut être visionné en intégralité sur le site <http://sciencesetmedia.org/>.

Les intervenants étaient : Clémence Perronnet, sociologue au centre Max Weber à Lyon, Jean Lopez, rédacteur en chef de *Sciences et Vie Junior (SVJ)*, Marie-Agathe Le Gueut, éditrice jeunesse au Pommier, Laurence Bordenave du collectif Stimuli, Emmanuelle Sudre, rédactrice en chef de l'émission « On n'est pas que des cobayes », l'astrophysicien Pierre Léna de l'association « La main à la pâte », Fred Courant du site « L'esprit sorcier », Daniel Tron, enseignant en anglais et cinéma, Laurence Broze de l'association Femmes et Mathématiques, Olivier Lapirot, rédacteur en chef adjoint de Nord Êta ! Accompagné de Corentin Aernouts, et enfin Martin Andler, président de l'association Animath.

Parmi eux un certain nombre de rédacteurs en chef de différents médias avaient répondu présents : celui d'un magazine à grand tirage, celle d'une maison d'éditions, d'une émission de télévision, d'un magazine régional ou encore d'un site dédié à la



L'ouverture de la journée. De gauche à droite : Samuel Guibal (orateur), Daniel Hennequin, Cyril Imbert, Halima Hadi, Aline Bonami et Sylvie Alayrangues.

médiation. Étaient aussi présentes une sociologue et la présidente d'une association, toutes deux en pointe sur les questions de genre. Deux responsables d'associations nationales établies dans le paysage de la médiation scientifique depuis plusieurs décennies ont également apporté leur témoignage.

Samuel Guibal, délégué adjoint à la Délégation régionale à la recherche et à la technologie au sein de la préfecture de Paris Île-de-France, nous a accueillis pour la journée au nom de la préfecture. En réponse aux questions sous-jacentes à cette journée, « pourquoi faut-il parler de sciences aux jeunes ? » et « pourquoi est-ce une question d'actualité ? », il rappelle l'importance de l'enjeu économique lié au développement scientifique, mais aussi la valeur culturelle historique de la science, et le fait que la démarche scientifique est porteuse de valeurs humaines fortes.

La première intervention est celle de la sociologue Clémence Perronnet sur le rapport des enfants à la science. Le biais lié au genre est bien identifié par la sociologie et il est communément admis qu'il se construit dès la petite enfance. Mais où se cachent les stéréotypes dans les supports de la culture scientifique enfantine ? Par exemple dans la couverture des magazines de sciences, nous dit Clémence Perronnet, où ce sont presque toujours des hommes qui figurent. Mais aussi dans les illustrations des encyclopédies, de la presse, des manuels, etc. Ils se cachent aussi dans ce qui est présenté : par exemple un homme qui montre sa force, en regard d'une femme qui danse. Ou encore dans l'offre de jouets : des petits garçons sur les boîtes de chimie, et une boîte rose pour les produits de beauté. Outre le biais lié au genre, c'est l'image des scientifiques transmise en particulier aux jeunes dans les médias tels que les livres et magazines spécialisés, les émissions de télévision ou audio qui est aussi préoccupante : celle d'un homme, seul, fou, qui fait courir le monde à la catastrophe. Néanmoins des contre-exemples peuvent faire changer la perception des



FIGURE 2. Jeu de cartes « Femmes de science », édité par Luana Games.

enfants : par exemple, la série *Grey's Anatomy*, qui donne une vision très diversifiée des scientifiques, ou le jeu de cartes québécois « Femmes de science » (Figure 2).

Le rédacteur en chef du magazine *Sciences et Vie Junior* (SVJ), Jean Lopez, a ensuite pris la parole. Cela fait trente ans qu'il parle de sciences aux jeunes. Ce magazine (ci-contre), créé en 1989, a tout de suite connu un énorme succès qui ne faiblit pas, avec 455 000 abonnés aujourd'hui. Le profil du lectorat n'a pas bougé au cours des années : ce sont à 80 % des CSP+<sup>2</sup> et aux 2/3 des garçons. Le texte est aussi travaillé que l'image, qui a gagné de plus en plus de place dans le journal. Le choix des sujets est un autre point très important : il est plus facile de parler d'évolution à quelqu'un de 15 ans qu'à quelqu'un de 11 ans, plus réceptif par exemple à l'éthologie. Par ailleurs, c'est l'actualité scientifique qui guide la ligne éditoriale et le journal s'attache à garder un équilibre entre les différentes matières. L'important courrier des lecteurs conforte le journal dans son choix de favoriser tout particulièrement deux thèmes : l'environnement et le monde numérique. La réussite de *Science et Vie Junior* montre l'intérêt que portent les jeunes à la science, du moins jusqu'à l'adolescence ; mais les abonnements à *SVJ* témoignent du désintéressement progressif à partir du lycée.



Couverture du numéro 318 de *Science et Vie Junior*.

Marie-Agathe Le Gueut est éditrice jeunesse aux éditions « Le Pommier ». Pour donner envie de sciences aux enfants de 4 à 13 ans, cette maison d'édition de

2. Catégories socio-professionnelles supérieures.

vulgarisation scientifique s'est dotée de plusieurs collections. Toutes cherchent à rendre accessible le savoir scientifique, à éveiller la curiosité et l'esprit critique. Toutes impliquent des scientifiques dans la conception des ouvrages. Chacune a, néanmoins, un processus de création et un cœur de cible qui lui sont propres. « Les minipommes » (ci-contre) sont un bel exemple de science participative : chaque volume est le fruit d'un échange entre une editrice, un scientifique et une classe. Les « Math'Attak » et les « expériences » mettent en avant le côté ludique des sciences. Les « Tout sur... », avec leur présentation aérée, cherchent à intéresser des enfants peu friands de lecture. À l'opposé, les « Romans & plus junior » emportent les lecteurs dans des enquêtes policières, discrètement émaillées d'informations scientifiques. Les plus jeunes ne sont pas oubliés : avec « Les petits dégoutants », ils développent leur sens de l'observation et découvrent sous un autre jour des petits animaux souvent méprisés mais utiles, comme l'araignée, la limace, le ver ou le crapaud. Enfin, les enfants sont également invités à se hisser « Sur les épaules des savants » pour découvrir avec eux les horizons qui restent à explorer. Souvent avec humour, toujours avec passion, les éditions « Le Pommier » accompagnent les enfants (et les adultes) dans la découverte des sciences.



Couverture de la minipomme du savoir « La pluie ».

Laurence Bordenave est fondatrice du collectif Stimuli. Ce collectif vise à transmettre des grains de sciences grâce à la bande dessinée. Pour ce faire, il regroupe des scientifiques, des médiateurs scientifiques, des didacticiens et des auteurs de BD. Il développe trois grands types d'actions : conception de dispositifs de médiation, création de BD ludo-éducatives et formation à la transmission des sciences par la BD. Une de ses actions phare en médiation repose sur l'idée que pour créer une planche de BD parlant de sciences, l'auteur doit lui-même avoir acquis des connaissances scientifiques. Il propose donc à des jeunes à partir de 11 ans de travailler en atelier pendant plusieurs semaines avec un scientifique (souvent un doctorant), un auteur de BD et un médiateur pour concevoir leurs propres planches autour de la discipline du scientifique. Ces ateliers (ci-contre) peuvent être organisés dans différents contextes (médiathèques, CCSTI, librairies...). Ils sont un lieu de mise en scène de la



Affiche d'un atelier BD organisé par le collectif Stimuli.

science, mais aussi de nombreuses discussions qui vont bien au-delà. Ils se concluent par une exposition au cours de laquelle chacun des jeunes auteurs peut présenter sa création. Toutes les créations sont par la suite mises en ligne. Pour pouvoir diffuser plus largement ce dispositif, le collectif s'implique dans des projets de recherche en didactique.

Emmanuelle Sudre est rédactrice en chef de l'émission « On n'est pas que des cobayes », sur France 5. L'émission, qui existe depuis cinq ans, est un programme familial, d'écoute conjointe par les enfants et les parents, et est conçue en conséquence. L'émission se fonde sur l'expérimentation : pour cette raison, les sujets ne répondent pas à un « pourquoi », mais se proposent de relever un défi. Le journaliste qui se voit attribuer un sujet dispose de quatre semaines pour enquêter, recruter des scientifiques (du doctorant au retraité) et créer des expériences, qui pourront être spectaculaires mais avant tout pertinentes. Le scénario doit raconter une histoire, montrer la démarche par essais-erreurs et les échecs éventuels. Le tournage s'étale sur cinq jours, et le montage sur douze jours. Tout ce qui est montré est validé par les experts scientifiques, y compris après le tournage. L'émission était suivie par 500 000 téléspectateurs en *prime time* le vendredi, ce qui représentait 2 % de part de marché (France 5 tourne aux alentours de 3,5 % en moyenne). L'émission s'est arrêtée quelques mois après la journée Sciences et Médias, à l'été 2016.

L'intervenant suivant est Pierre Léna, astrophysicien et ancien président de la « Fondation *La main à la pâte* ». Pour lui, la science est une aventure et la jeunesse aime les récits d'aventure. Jules Verne l'avait bien compris. La passion pour la science existe chez les jeunes, mais cette passion s'atténue quand la science est transmise par l'école. Une étude récente de l'université d'Oslo a analysé la demande de sciences à l'école pour les élèves de 15 ans dans différents pays, en fonction de leur richesse. De façon extrêmement claire cette demande est à l'inverse de la richesse du pays. Ce paradoxe doit être creusé. Il faut « apprendre à voir », faire apprendre à voir, suivre en ce sens l'exemple de Galilée que l'observation attentive des petites oscillations d'un pendule a conduit à comprendre l'isochronisme, si essentiel ensuite pour la conception des horloges, ou l'abbé Haüy lorsqu'il observe au microscope des cristaux de calcite. C'est ce qu'il faut apprendre aux enfants, nous dit Pierre Léna. « Mais voir ne suffit pas. Il faut aussi parler. Et le métier des médias, c'est de montrer, mais aussi de dire. C'est un difficile exercice que celui de mettre la science en mots. » Les petits enfants adorent les exercices de pensée, nous dit-il. Et Pierre Léna défend avec passion l'expérience de *La main à la pâte*, si différente de la démarche de l'école. Il faut « comprendre pour comprendre, comprendre pour faire, comprendre avant d'apprendre », nous dit-il, et il illustre de l'exemple fascinant d'enfants qui observent une souris dans un labyrinthe.

Fred Courant est cofondateur de « L'Esprit Sorcier ». Cette plateforme internet (Figure 3) poursuit l'aventure de l'émission TV « C'est pas sorcier », émission créée en 1993 sur France 3 par Jamy Gourmaud et lui-même. C'était une émission de



FIGURE 3. Capture d'écran d'une page « archives » du site « L'esprit Sorcier ».

sciences pour les jeunes, supprimée en 2013. Pour Fred, le succès rencontré par l'émission TV et la plateforme internet montre que les jeunes sont passionnés par la science, toute la science. (*Pour l'essentiel, les orateurs de la journée sont d'accord avec cette affirmation, en la restreignant aux jeunes de moins de 15 ans.*) L'accès à L'Esprit Sorcier est libre, gratuit, sans publicité. L'essentiel du financement vient de subventions institutionnelles (conseil régional d'Île-de-France), plateforme de *crowd funding* (financement collaboratif) « kisskissbankbank »... L'équipe de L'Esprit Sorcier est composée d'une quinzaine de personnes. Un sujet par semaine est présenté. Quelques questions sont posées en fin de sujet pour alimenter la discussion, qui est très animée sur internet.

Daniel Tron est enseignant-chercheur à l'université de Tours. Il s'intéresse à la science-fiction (SF) dans la littérature et le cinéma. L'acronyme SF recouvre plusieurs genres littéraires. *Le space opera* (par exemple la saga Star Wars), issu du roman d'aventures, n'a pas grand-chose de scientifique : la science y est assujettie à la morale. À l'opposé, *la hard SF* est une extrapolation cohérente à partir des connaissances scientifiques et techniques de notre époque, c'est une expérience de pensée. Daniel Tron plaide pour une réconciliation entre littérature et science à l'école. On peut faire beaucoup avec la SF : avant même de faire de la science, on peut créer un désir de science. L'envie de science vient avec la curiosité, et cette curiosité-là naît

si on lui donne des histoires. Au-delà même de la science, n'est-il pas plus facile d'amener un enfant à la lecture par Jules Verne plutôt que par Balzac ou Montesquieu ? Des extraits de films illustrent ces propos. Un premier extrait montre Woody Woodpecker qui, en 1950, explique les conditions technoscientifiques de l'exploration lunaire : le film est projeté devant un parterre de généraux et de politiciens. Notons aussi un extrait de « Seul sur Mars », où Matt Damon s'adresse à son journal vidéo : « Je suis botaniste. Mars finira par avoir peur des pouvoirs des botanistes. » La science héroïque pour réconcilier les enfants avec la culture scientifique !

Laurence Broze, présentée comme une militante infatigable de la cause de l'égalité hommes-femmes, revient sur les stéréotypes qui veulent, par exemple, que les filles doivent réaliser leurs rêves, les garçons leurs ambitions. Stéréotypes qui peuvent ne convenir ni aux unes ni aux autres. Les mathématiques sont particulièrement concernées, elles qui « dessèchent le cœur », écrit Flaubert, et de fait les filles vont plus naturellement vers les sciences de la vie, la médecine et tout ce qui touche aux soins. L'association Femmes et Mathématiques, que préside Laurence Broze, organise diverses actions, dont les journées « Filles et maths : une équation lumineuse ! », où la séance de théâtre forum, qui permet de sortir sans barrières tous les stéréotypes possibles, connaît toujours un franc succès. Laurence Broze insiste sur l'importance de modèles féminins et se réjouit que la médaille Fields ait été attribuée à une femme, Maryam Mirzakhani, pour la première fois en 2014. Faut-il parler de sciences de la même manière aux filles et aux garçons ? Doit-on parler à l'avance aux filles des difficultés qu'elles vont rencontrer ? Les questions sont ouvertes. Dans la discussion qui suit, Martin Andler parle des efforts considérables vers l'égalité que font diverses grandes institutions étrangères.

Olivier Lapirot est rédacteur en chef adjoint de *Nord Éka!*. Il est accompagné de Corentin Aernouts, lycéen au lycée Baggio, à Lille. *Nord Éka!* est un projet de média scientifique de la région Nord Pas-de-Calais pour les 15-25 ans, intégrant une dimension participative. Lancé il y a deux ans, il est piloté par le Forum départemental des sciences, à Villeneuve d'Ascq. Il a pour objectifs d'intéresser les jeunes à la science, de promouvoir les sciences et la recherche régionale, et de rapprocher les jeunes et les chercheurs, en les faisant se rencontrer. *Nord Éka!* est un magazine et un blog. Le magazine (ci-contre), constitué de huit pages, paraît quatre fois par an, et est imprimé à 100 000 exemplaires distribués essentiellement dans les lycées de la région. Le cœur de ce magazine est un dossier de quatre pages, dont une est rédigée par des lycéens de l'atelier scientifique du lycée Baggio. Au rythme d'une



Couverture du numéro 2 du magazine *Nord Éka!*

heure par semaine, les lycéens, accompagnés de leurs enseignants, construisent leur article en rencontrant des chercheurs et en interagissant avec Olivier Lapirot. Pour ces élèves de la filière S, les principales difficultés rencontrées sont d'ordre rédactionnel plutôt que scientifique. Corentin Aernouts suggère d'ailleurs d'intégrer dans le programme de sciences « de la méthodologie rédactionnelle », en demandant par exemple que « dans un devoir, un exercice soit intégralement rédigé ».

Faut-il s'étonner de cette journée ? s'interroge le président de l'association Animath, Martin Andler. Car en France on considère largement que l'école porte à elle seule tout l'enseignement des sciences, au contraire de ce qu'il en est pour la musique, le sport, ou l'enseignement artistique. Le propos de Martin Andler est justement de dire tout le bénéfice qu'on peut tirer des activités périscolaires, qui permettent de reconnaître la pluralité des talents et la diversité des mécaniques d'acquisition de l'autonomie, mais aussi peuvent intervenir comme laboratoires d'idées. Il y a actuellement un foisonnement d'initiatives proposant des actions très diverses : chaînes vidéos, journées portes ouvertes, concours, olympiades, expositions... qui répondent au constat que le système scolaire à lui tout seul ne marche pas ou ne répond pas aux attentes diverses du public scolaire. Pour susciter des vocations chez les jeunes des milieux défavorisés ou chez les filles, pourquoi ne pas rêver d'un club scientifique dans chaque établissement ?

Pour conclure, les organisateurs remercient la préfecture de Paris et d'Île-de-France, qui a mis à leur disposition ses magnifiques locaux, ainsi que le CNRS, Inria et le CEA qui ont aidé financièrement les sociétés savantes dans l'organisation de cette journée. La préfecture a également accepté que le hall soit utilisé pour une petite exposition qu'on peut retrouver sur le site *web* de la journée<sup>3</sup>.

---

## Journée Sciences et médias 2018

*La prochaine édition aura lieu début 2018, dans un lieu qui sera précisé sur le site <http://sciencesetmedia.org/>. Le thème devrait tourner autour de l'information, la désinformation et la fiction. L'équipe organisatrice espère que les responsables communication, le monde de la presse et de la médiation, sans oublier les enseignants-chercheurs et les étudiants, seront une fois de plus nombreux et nombreuses à venir prendre part aux débats sur ce thème passionnant.*

---

3. Voir <http://www.societe-informatique-de-france.fr/2015/11/journee-sciences-medias-2016/>





## Les grandes thématiques de la recherche actuelle en e-éducation : apprendre avec le numérique, apprendre le numérique, apprendre à l'ère du numérique

ATIEF<sup>1</sup>

Le repérage des différents rôles joués par les techniques numériques dans le champ des apprentissages, quels que soient les publics, les dispositifs et les choix techno-pédagogiques, permet d'identifier et de structurer des questionnements pertinents pour les chercheurs et les industriels du secteur de la e-éducation. À grands traits, trois thèmes principaux émergent : *apprendre avec le numérique*, *apprendre le numérique* et *apprendre à l'ère du numérique*. Les trois ne sont pas indépendants et certains entretiennent même des liens de contingence. On a ainsi bien montré par exemple que le niveau moyen de compétence et de culture numériques des adolescents est faible, même si ces déficiences sont masquées par un discours ambiant qui survalorise certaines pratiques. Ce déficit de compétence qui relève de la dimension « apprendre le numérique », constitue un obstacle à l'usage efficace du numérique pour les apprentissages scolaires et universitaires (dimension « *apprendre avec le numérique* »).

Un enjeu essentiel de la réussite des travaux de recherche pour avancer sur les thèmes cités est de mettre en place les conditions d'une démarche éthique [1, 2, 3] partagée par la communauté de la recherche et transparente pour la société. Les

---

1. L'ATIEF est l'Association des technologies de l'information pour l'éducation et la formation, <http://atief.fr/>. Ce texte, décrivant les grandes thématiques actuelles de la recherche en e-éducation, a été rédigé dans le cadre du projet ANR de réseau ORPHÉE (<http://www.orphee-edu.fr/>) qui vise à structurer la communauté de l'e-éducation.

communautés nationales et internationales se mobilisent sur la question pour qu'une telle démarche constitue une valorisation reconnue des travaux de recherche publiés.

## **Apprendre avec le numérique**

Apprendre avec le numérique revient à exploiter les potentialités des techniques numériques pour élaborer, développer et mettre en œuvre des activités d'apprentissage médiatisées.

### ***Du point de vue des nouvelles technologies***

De nos jours, les apprentissages se construisent tout au long de la vie depuis l'école, à l'université et pendant toute la carrière professionnelle. Ils reposent également sur des logiques de formation informelle qui se développent considérablement avec les potentialités offertes par le numérique. Il est donc nécessaire de formaliser les acquis et les parcours réalisés. Le système éducatif français a récemment évolué vers une articulation de l'apprentissage autour de la notion de compétence et ce dès l'école (Livret personnel de compétences – LPC) et à l'université (Portefeuille d'expériences et de compétences – PEC). En formation professionnelle, le salarié possède un compte personnel d'activité – CPA – qui doit lui permettre de gérer son parcours professionnel. Cette évolution pose la question de l'articulation des apprentissages formels et informels – et donc de leur reconnaissance. Et cela d'autant plus que ces derniers représentent la majorité de nos acquis. L'apprenant devient donc l'acteur principal de son parcours tout au long de sa vie. Le rôle des parties prenantes (apprenant, enseignant, institutions, etc.) en est profondément modifié.

Les dynamiques contributives, entre autres vecteurs de la transition numérique, se développent de manière transverse dans notre société. Les apprentissages se font de plus en plus naturellement en réseau, en communauté, renforçant les interactions autour d'une abondance des contenus. Les possibilités d'apprentissage sont multiples dans ce contexte où l'information et les possibilités de communication sont pervasives et omniprésentes. La littératie numérique devient un réel prérequis chez les apprenants et les enseignants pour les exploiter efficacement et les orchestrer.

Dans un tel cadre, quels services proposer à l'apprenant, répondant à ses besoins propres (personnalisation) et lui permettant de rester maître de son parcours (autonomie) et de ses données personnelles d'apprentissage (livrets de compétences, badges, traces, etc.) ?

Toutes ces évolutions renouvellent les questions de recherche suivantes : la modélisation de l'apprenant [4, 5, 6], la modélisation des savoirs visés (compétences / connaissances), la modélisation de l'interaction (processus / scénarios éprouvés d'acquisition des connaissances et d'adaptation en fonction du contexte et de l'apprenant), la collecte et la modélisation des traces [7, 8, 9]. Les croisements féconds entre ces problématiques contribuent à répondre à des questions aussi diverses que

l'accès aux ressources pédagogiques ou non, les parcours d'apprentissage personnalisés, les rôles des communautés et de la multitude dans l'apprentissage au travers des médias sociaux, les rôles des apprenants, des enseignants, des experts et des entreprises, le rôle de l'apprenant vis à vis des données d'apprentissage (contrôle, gestion, partage, échange, etc. : *Self data* [10]), etc.

Pour répondre à ces questions de recherche, des collaborations pluridisciplinaires (de recherche) sont à renforcer ; elles sont difficiles à mettre en œuvre sur la durée et ne peuvent s'appuyer que sur l'existence de modèles à niveau connaissances suffisamment intelligibles et signifiants pour pouvoir être partagés et questionnés par les acteurs en sciences de l'éducation, en psychologie cognitive et sociale, en épistémologie et en informatique. La capacité à modéliser et l'effort de modélisation / de partage de modèles sont des conditions de la validation des modèles proposés au sein de chaque discipline, de leur compréhension et de leur appropriation par les acteurs des autres disciplines.

Par ailleurs, certaines compétences de laboratoires de recherche français ne sont peut-être pas encore suffisamment exploitées dans le champ de la recherche en e-éducation. C'est le cas par exemple du Traitement automatique de la langue (TAL), qui permettrait d'améliorer les techniques d'analyse de traces, le diagnostic de réponses courtes ouvertes de l'apprenant, la compréhension des besoins de l'apprenant, la découverte de connaissances dans les supports de cours ou les corpus documentaires (culture, patrimoine...), la génération de questions. C'est aussi le cas des nouvelles approches de neuroimagerie en sciences cognitives.

La révolution numérique introduit en outre dans l'enseignement de nouveaux outils qui créent de nouvelles formes d'interactions qui vont bien au-delà des habituels QCM et autres hypermédias, c'est le cas des logiciels professionnels accessibles à travers le *cloud*, des tables tactiles [11], de la 3D [12], de la réalité virtuelle et augmentée<sup>2</sup> [13, 14]. Le numérique favorise également l'utilisation de nouveaux espaces d'apprentissage (*learning labs*, *fablabs*) avec par exemple l'utilisation d'objets connectés, de robots ou d'imprimantes 3D.

### ***Du point de vue des usages***

La question que la société et l'institution renvoient aux chercheurs est celle de l'efficacité voire de l'efficience de l'instrumentation numérique des apprentissages. Observée de plus près, cette thématique est complexe et beaucoup des questions qu'elle soulève appellent un traitement interdisciplinaire compliqué par la très grande sensibilité des comportements observés en contexte. Ainsi, deux situations d'apprentissage qui peuvent sembler analogues voire identiques en première approche peuvent se révéler nettement distinctes dans la réalité en raison du grand nombre de variables situationnelles. Il est donc nécessaire de déployer une démarche

---

2. ANR VICTEAMS : <https://victteams.hds.utc.fr/>, ANR MacCoy : <http://anrmaccoy.fr/>

empirique qui prenne réellement en considération la complexité des situations d'apprentissage. On pourra ainsi évaluer l'efficacité de certaines activités d'apprentissage dans leur spécificité et identifier le rôle de la médiation instrumentale.

Deux difficultés méthodologiques, qui tiennent à la variabilité des dispositifs étudiés, sont à surmonter : la diversité synchronique mais aussi la diversité due à l'évolution continue et rapide des technologies et leur mise en œuvre pédagogique. C'est sans doute la multiplicité des cas étudiés, pour peu que les travaux reposent sur des bases conceptuelles et méthodologiques suffisamment bien explicitées et compatibles, qui pourra donner de la robustesse aux résultats obtenus. Il apparaît important de combiner des approches descriptives pour collecter des données sur la réalité des usages (ce que font les acteurs de l'éducation) avec une démarche herméneutique (pourquoi le font-ils) et des travaux expérimentaux (ou quasi-expérimentaux) pour caractériser et mesurer précisément les apports de la médiation numérique aux apprentissages. Ces travaux ne peuvent s'envisager sans de véritables collaborations interdisciplinaires ni sans mobiliser, d'une façon ou d'une autre, l'ensemble des acteurs, du chercheur à l'enseignant, sans oublier l'apprenant et les autres acteurs des dispositifs concernés.

Ces travaux doivent se penser dans une logique de *design-based research* [15], où l'on travaille sur des usages du numérique qui ne se réduisent pas à la réplication numérique d'activités préexistantes mais bien à l'invention et l'évaluation de nouveaux artefacts et de nouvelles pratiques. De la même façon, les enseignants et les ingénieurs pédagogiques ne disposent pas des savoirs et savoir-faire pour les inventer seuls. En effet, la conception des dispositifs, situations et ressources est actuellement plus distribuée, participative et située. Comment proposer des méthodes qui intègrent et structurent ces aspects et considèrent les multiples acteurs dans une dynamique de co-conception ou de conception continuée dans l'usage ? Comment modéliser cette co-évolution des humains et des dispositifs techniques ? En terme d'observation, ces évolutions modifient les pratiques des acteurs, enseignants et apprenants. Quelles sont ces nouvelles pratiques et les nouveaux métiers autour de la e-éducation ? Comment la culture informatique et informationnelle crée-t-elle des fractures numériques chez les enseignants et les apprenants ?

Les techniques numériques elles-mêmes constituent de puissants supports et outils pour la recherche dans le domaine de la e-éducation qui sont paradoxalement trop peu mis en œuvre. Les *learning analytics* et plus généralement la collecte et l'analyse de traces de l'activité des utilisateurs de dispositifs d'apprentissage médiatisés<sup>3</sup> [16, 17] doivent être développés, en particulier si ces traces numériques peuvent être enrichies par d'autres données quantitatives ou qualitatives collectées avec les moyens plus classiques dont disposent les chercheurs (observation, enquêtes, entretiens, tâches expérimentales...). L'exploitation de ces traces offre de

---

3. ANR HUBBLE : <http://hubblelearn.imag.fr/>

nouvelles possibilités d'étude et de modélisation des genèses d'usage. Comment exploiter ces sources d'observation et les intégrer avec les méthodes plus classiques d'observation contextuelles ? Comment les enseignants peuvent-ils en profiter pour faciliter le suivi des élèves ? Quels sont les besoins des chercheurs et comment cela modifie-t-il leur activité ? Plus globalement, comment valoriser et exploiter les multiples résultats empiriques d'observation des usages pour les rendre réexploitables par les réseaux d'enseignants et de chercheurs et faciliter les méta-analyses ou les analyses longitudinales ?

Les livrables des recherches devraient aussi prendre la forme de bases de connaissances / données collectées par les chercheurs, mises en forme et documentées afin de rendre possible la controverse mais aussi de permettre l'exploitation des connaissances / données au service des travaux scientifiques. À plus long terme, en travaillant les interfaces de collecte, d'accès et de traitement de l'information scientifique, un objectif serait de construire des observatoires qui soient utilisables non seulement pour rassembler ces résultats mais aussi les réexploiter directement au sein des plates-formes. Le but et la portée de ces travaux relatifs aux apprentissages tiers avec le numérique est double : améliorer la qualité des dispositifs d'apprentissage et contribuer par la recherche à la conception et au développement de nouveaux artefacts (ressources, services) utiles à l'enseignement, à l'éducation et aux apprentissages.

## Apprendre le numérique

Différents travaux ont montré le faible niveau de connaissance et de compétence numériques moyen de tous les publics et en particulier des adolescents et des jeunes adultes. D'autres recherches ont souligné que les connaissances et compétences numériques ne pouvaient pas toutes être acquises par l'expérience et que seuls les enfants qui bénéficient d'un environnement familial favorable développent certaines compétences inaccessibles aux autres, en particulier la capacité d'avoir un regard critique sur les contenus proposés sur le web via les réseaux sociaux. Ces recherches ont fait dire à certains que des dispositifs fondés sur la seule certification de compétences, comme le B2i en France, aggravent la fracture numérique et qu'il est essentiel que les institutions éducatives assument pleinement leur mission d'éducation, sans quoi l'on risque d'accroître les inégalités. Pour autant, cette problématique appelle des travaux de recherche, dont certains sont en cours, sur la littératie numérique, sur la construction des usages et sur les conditions d'une éducation numérique efficace (voir par exemple le *framework* européen DIGCOMP<sup>4</sup>), au service de l'émancipation citoyenne comme de la formation des spécialistes du numérique dont notre société a besoin. L'une des questions centrales, après avoir déterminé la nature et le

---

4. <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp/digital-competence-framework>

périmètre de cette littérature, est celle de la didactique. Comment éduquer au numérique et comment enseigner le numérique ?

L'informatique et la programmation ont pris une place dans l'enseignement scolaire dans le cadre des nouveaux programmes (dans le primaire et au collège, enseignement d'exploration en seconde et enseignement facultatif en première et terminale, enseignement de spécialité en terminale S). La modalité dominante de formation est celle du projet. Les enseignements devraient être assurés par des enseignants de différentes disciplines, notamment de mathématiques ou de technologie en collège et d'autres spécialités en lycée. Il faudrait maintenant documenter la mise en place de ces enseignements, identifier et comprendre les difficultés rencontrées par les élèves et aussi par les enseignants dans la compréhension et l'utilisation des concepts informatiques. Au-delà, les dispositifs de type Fablab et Medialab, s'ils constituent d'excellents vecteurs d'apprentissage informels entre pairs, nécessitent aussi des évaluations systématiques dont la communauté en e-education doit se saisir, tant d'un point de vue informatique que sociétal<sup>5</sup>.

### **Apprendre à l'ère du numérique**

La disponibilité permanente du numérique que promet l'équipement numérique massif, nomade et connecté, modifie profondément nos valeurs et nos comportements. Ces transformations sont finalement assez mal connues d'un point de vue scientifique alors même que :

- l'État et les collectivités territoriales investissent très fortement dans ces équipements et leurs usages,
- leurs effets sont notables dans de nombreuses dimensions de l'activité individuelle et sociale.

Ainsi, les modes de sociabilité ont changé, le rapport au temps et à l'espace est bouleversé ; l'évolution des normes sociales est en marche, qu'il s'agisse des apprentissages scolaires (école, collège, lycée, université) et extra-scolaires que des apprentissages en situation professionnelle et tout au long de la vie. On le sait, l'usine du futur, par les changements qu'elle requiert en termes de réorganisation du travail, de nouvelles compétences, de nouveaux métiers, a déjà commencé à modifier fondamentalement le facteur humain au sein des entreprises [18]. Dans le cadre d'un travail industriel à l'ère du numérique, il s'agit donc aussi d'interroger la pédagogie et la technologie au service de l'apprentissage tout au long de la vie [19, 20, 21]. Des recherches systématiques qui articulent l'étude des pratiques numériques avec les autres dimensions de la vie professionnelle et sociale de chacun sont donc nécessaires, en particulier dans le champ de l'éducation où les institutions éducatives reposent sur des structures et des modes d'organisation, souvent en décalage croissant avec les évolutions sociales et culturelles impulsées par le numérique.

---

5. <https://apprentissageinstrumentdelinformatique.wordpress.com/>

## Références

- [1] H. Drachsler, W. Greller. (2016). Privacy and Analytics – it's a DELICATE issue. A Checklist to establish trusted Learning Analytics. 6th Learning Analytics and Knowledge Conference 2016, April 25–29, 2016, pp. 89–98. Edinburgh, UK. DOI : <http://dx.doi.org/10.1145/2883851.2883893>.
- [2] D. Gasevic, S. Dawson, J. Jovanovic. (2016). Ethics and privacy in learning analytics, Vol 3, No 1, special issue of Journal of Learning Analytics, UTS ePress, <http://learning-analytics.info/journals/index.php/JLA/issue/view/373>.
- [3] A. Mille, V. Pérès-Labourdette Lembé. (2017). Learning Analytics : vers une éthique par construction des EIAH. Atelier ORPHEE-RDV « Méthodologies et outils pour le recueil, l'analyse et la visualisation des traces d'interaction », Janvier 2017, <https://analysedestraces.wordpress.com/actes/>.
- [4] M. Desmarais, R. Baker. (2012). A review of recent advances in learner and skill modeling in intelligent learning environments. *User Modeling and User-Adaption Interaction* 22, 1-2, pp. 9–38.
- [5] J. Stamper, K. Koedinger. (2011). Human-machine student model discovery and improvement using data. *Proceedings of the 15th International Conference on Artificial Intelligence in Education*.
- [6] S. Lallé, J. Mostow, V. Luengo, N. Guin. (2013). Comparing Student Models in Different Formalisms by Predicting Their Impact on Help Success. *Artificial Intelligence in Education - 16th International Conference, Memphis*.
- [7] K. Koedinger, R. Baker, K. Cunningham, A. Skogsholm, B. Leber et Stamper. (2010). A Data Repository for the EDM community : The PSLC DataShop. *Handbook of Educational Data Mining*. Romero Éd., Boca Raton, FL : CRC Press., pp. 43–56.
- [8] L. Settouti, N. Guin, V. Luengo, A. Mille. (2010). Trace-Based Learner Modelling Framework for Technology-Enhanced Learning Systems. *Computer Society Publications, IEEE. IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies 2010*.
- [9] C. Reffay, M.-L. Betbeder, T. Chanier. (2012). Multimodal Learning and Teaching Corpora Exchange : Lessons learned in 5 years by the Mulce project. *Special Issue on dataTEL : Datasets and Data Supported Learning in Technology-Enhanced Learning. International Journal of Technology Enhanced Learning*, vol. 4, no 11, pp. 11–30.
- [10] Fing, Self Data report 2015. Retrieved online [http://doc.openfing.org/MesInfos/SelfData\\_MesInfos\\_Mai%202015\\_VF\\_HD.pdf](http://doc.openfing.org/MesInfos/SelfData_MesInfos_Mai%202015_VF_HD.pdf).
- [11] J.-C. Marty, A. Serna, T. Carron, P. Pernelle, D. Wayntal. (2016). Multi-device Territoriality to Support Collaborative Activities. *11th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2016, septembre 2016, Lyon (France)*, pp. 152–164.
- [12] F. Djelil, A. Albouy-kissi, B. Albouy-kissi, E. Sanchez, J.-M. Lavest. (2015). Towards a 3D Virtual Game for Learning Object-Oriented Programming Fundamentals and C++ Language : Theoretical Considerations and Empirical Results. *7th International Conference on Computer Supported Education, CSEDU 2015*.
- [13] J.-M. Burkhardt et al. (2016). Simulation and virtual reality-based learning of non-technical skills in driving : critical situations, diagnostic and adaptation. *IFAC-PapersOnLine* 49.32 pp. 66–71.
- [14] V. Luengo, A. Larcher, J. Tonetti. (2011). Design and implementation of a visual and haptic simulator in a platform for a TEL system in percutaneous orthopedic surgery. *Studies In Health Technology And Informatics. Special Issue Medicine Meets Virtual Reality*.
- [15] F. Wang, M. J. Hannafin. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, Volume 53, Issue 4, pp. 5—23.

- [16] W. Greller, H. Drachsler. (2012). Translating learning into numbers : A generic framework for learning analytics. *Educational technology & society* 15(3), pp. 42–57.
- [17] N. Mandran, M. Ortega, V. Luengo, D. Bouhineau. (2015). Dop8 : merging both data and analysis operators life cycles for technology enhanced learning. In : *Proceedings of the Fifth International Conference on Learning Analytics And Knowledge*. pp. 213–217. ACM.
- [18] T. Bidet-Mayer, L Toubal. (2016). *Travail industriel à l'ère du numérique. Se former aux compétences de demain*, Paris, Presses des Mines. ISBN : 978-2-35671-425-1.
- [19] N. Tremblay. (2003). *L'autoformation - Pour apprendre autrement*, Presses de l'Université de Montréal, Montréal.
- [20] P. Sloep, J. Boon, B. Cornu, M. Klebl, P. Lefrere, A. Naeve, L. Tinoca. (2011). A European research agenda for lifelong learning. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 3(2), pp. 204–228.
- [21] J. Eneau (2012). Educational reciprocity and developing learner autonomy : the social dimension of self-directed learning. In K. Schneider (dir.) *Becoming Oneself : Dimensions of "Bildung" and the Facilitation of Personality Development* (pp. 29–54) Wiesbaden (Allemagne) : VS Verlag.



### D'Ésope à Sirac, de Paris à Grenoble

Entretien avec Sacha Krakowiak (réalisé par Valérie Schafer)

---

*« Les gens de ma génération ont eu de la chance », mais ils ont su la provoquer, avons-nous envie d'ajouter au terme de ce retour sur le parcours de Sacha Krakowiak. À travers quarante ans de carrière dans la recherche informatique et l'enseignement, du Bassin des carènes à l'université Joseph Fourier de Grenoble, il témoigne de son éblouissement à la découverte de l'informatique, d'un parcours attentif et réceptif à l'effervescence du champ, ayant su saisir les opportunités, les secteurs émergents, toujours avec une même passion pour la culture projet, la transmission, la formation, l'exploration et la collaboration, que celle-ci soit locale, académique, entre industrie et recherche ou encore européenne.*

Valérie Schafer<sup>1</sup>

Valérie Schafer : *J'ai eu le plaisir en amont de cet entretien d'écouter votre témoignage mis en ligne sur le site de la Société informatique de France<sup>2</sup>. Or, comme vous le rappelez d'emblée, vous n'avez pas au départ bénéficié d'une formation informatique. Vous en avez créé et développé ensuite, mais quand vous démarrez dans l'informatique, celle-ci est également plus ou moins à son démarrage au plan institutionnel et universitaire.*

Sacha Krakowiak : En effet. J'étais en prépa de 1954 à 1956, puis je suis entré à l'X, et on enseignait très peu à ce moment-là l'informatique en France, en tout cas pas

---

1. Valérie Schafer, ISCC, CNRS/Paris-Sorbonne/UPMC. Entretien co-publié avec la revue *Technique et science informatiques* (TSI).

2. Sacha Krakowiak a été distingué membre d'honneur de la SIF en 2016, aux côtés de François Bancilhon, Maylis Delest et Alice Recoque. Pour écouter son discours : <http://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2016/02/Sacha-Krakowiak.m4a>

dans les cursus que je suivais. J'ai fait des mathématiques très abstraites, de l'analyse, de la géométrie, un peu de mathématiques appliquées, un peu d'électronique ensuite en école d'application, mais on ne parlait pas du tout de calculateurs et encore moins de langages. J'ai choisi de me tourner vers l'hydrodynamique et la mécanique des fluides car j'avais eu de bons professeurs dans ce domaine. Je suis également parti à Berkeley un an pour compléter mes études d'hydrodynamique. On était alors en 1961 et tous les étudiants du département d'ingénierie devaient suivre un cours de Fortran. J'ai été fasciné dès ce moment-là par la notion de compilateur. À mon retour en France, au Bassin des carènes<sup>3</sup>, j'ai eu cette chance considérable quelques mois après, qu'un ordinateur Gier y soit installé.

Cette machine, construite par une entreprise danoise, Regnecentralen, abritait le meilleur compilateur du langage Algol 60, écrit par l'équipe de Peter Naur. Ce dernier a été l'éditeur du rapport *Revised report on the algorithmic language Algol 60*<sup>4</sup>, ce qui lui a valu le prix Turing en 2011.

V. S. : *Pourquoi est-ce cet ordinateur qui arrive au Bassin des carènes ?*

S. K. : Notre directeur était très ami avec son homologue au Danemark et ils avaient convenu d'échanger des programmes d'application. Par curiosité je suis allé voir cet ordinateur et m'enquérir de son fonctionnement. J'ai posé quelques questions et on m'a remis le petit livre gris édité par Peter Naur, en me disant : « Tout est là-dedans ». Et en effet tout était dedans ! Je m'y suis plongé et c'était fascinant...

V. S. : *Ce document est lisible sans réellement être spécialiste ?*

S. K. : Lisible sans aucun prérequis, si on a un esprit logique. Il est rédigé de façon extrêmement lumineuse et pourtant ce n'est pas facile d'écrire en groupe. Tout est dans le génie de l'éditeur, qui a appliqué la phrase mise en épigraphe de l'ouvrage, une citation de Wittgenstein : « Tout ce qui peut se dire peut se dire clairement ; et sur ce dont on ne peut parler, il faut garder le silence ». Cela s'applique très bien au contenu de ce rapport et j'ai eu un éblouissement en le lisant. Je n'étais pas préparé à ce genre de démarche. Ce fascicule contient la description complète de la syntaxe du langage Algol 60 dans la notation BNF (*Backus-Naur Form*), un formalisme simple et rigoureux. Pour la sémantique, on utilisait encore le langage naturel. C'est vraiment un texte fondateur.

Une autre illumination a été de découvrir la récursivité ; je n'avais pas été préparé par mes études à cette forme d'expression. J'ai commencé à écrire des programmes, mais aussi à enseigner au personnel du Bassin des carènes ce que j'avais appris, ce qui m'a permis de développer un certain goût pour l'enseignement et j'ai décidé de

3. Centre d'essais et de recherche en hydrodynamique navale, dépendant alors du Service technique des constructions et armes navales.

4. Voir <http://www.eah-jena.de/~kleine/history/languages/Algol60-RevisedReport.pdf>

faire de l'informatique mon activité. J'ai ensuite été promu responsable du service informatique.

V. S. : *Ce service se constitue au moment de l'arrivée de l'ordinateur ?*

S. K. : Lorsque l'ordinateur arrive, on est un peu dans le bricolage. Un ou deux ingénieurs d'un service voisin s'en occupent. On m'a raconté que Peter Naur, qui est venu en personne sur le site, a discuté avec les personnes qui devaient s'occuper de la machine et aurait qualifié leurs méthodes de programmation comme relevant de l'âge de pierre... Il s'exprimait de façon très directe. J'ai eu la chance de pouvoir travailler dans un domaine très nouveau pour moi. J'étais un autodidacte, mais je suis arrivé au bon moment. La société Regnecentralen avait dépêché chez nous un consultant informatique pour aider à la mise en route de la machine. On s'était bien entendus et quand ce consultant est reparti, il a suggéré au Bassin des carènes que je prenne en charge le service informatique, qu'il fallait créer de toutes pièces.

Nous y avons recruté des scientifiques du contingent, puis des ingénieurs. Avec cette machine nous étions probablement en avance de deux ans sur les outils disponibles en France. Nous faisons aussi du calcul analogique. Il y avait bien une équipe à Grenoble qui travaillait sur Algol, mais leur compilateur était encore en cours d'écriture ; ils sont d'ailleurs venus nous voir.

V. S. : *Vous quittez ensuite le Bassin des carènes...*

S. K. : Cela devenait un peu de la routine. J'avais monté le service, écrit des programmes dans une variété de domaines d'application, ça avait été passionnant. Mais j'avais envie de faire autre chose, de ne pas rester dans le cadre administratif qui était le mien, et où mes responsables me rappelaient que j'étais censé gérer le travail des autres et trouvaient que je faisais un peu trop de technique. Je suis d'ailleurs très reconnaissant à mes anciens patrons, Serge Bindel et le regretté Roger Brard – le directeur du Bassin des carènes, un pionnier dans son domaine – de m'avoir enseigné des méthodes de travail et appris comment rédiger et présenter un papier. Mais j'avais envie de continuer à faire de la technique... Et l'Institut de recherche en informatique et automatique venait de se créer<sup>5</sup>.

V. S. : *Comment entrez-vous à l'Iria ?*

S. K. : J'y suis entré en mai 1968 pour travailler à la réalisation d'un système d'exploitation sur un CII 10070. En 1968 les procédures n'étaient pas très formelles, le statut des chercheurs n'était pas celui qu'il est aujourd'hui. Il y avait beaucoup de contractuels et pas encore de concours de recrutement. On pouvait y être fonctionnaire détaché, ce qui a été mon cas, et les recrutements se faisaient directement

---

5. Sur l'histoire de l'Iria devenu Inria : Alain Beltran et Pascal Griset, *Histoire d'un pionnier de l'informatique, 40 ans de recherche à l'Inria*, Édition EDP Sciences, Les Ulis, 2007.

par l'entremise de l'une des quatre ou cinq directions de recherche. Celle qui m'intéressait était confiée à Henri Boucher, ingénieur en chef du génie maritime. Nous appartenions au même corps, ce qui a facilité le contact. Fin 67 – début 68 je suis donc allé le voir et nous nous sommes entretenus deux ou trois fois, avant que je n'intègre sa direction en mai 1968. Je n'avais alors ni thèse, ni statut académique. Nous avons constitué une petite équipe de cinq personnes. Elle comptait Claude Kaiser, qui était aussi ingénieur du génie maritime<sup>6</sup>. Il avait eu une démarche parallèle à la mienne, tournée vers l'informatique en temps réel, et avait envie de se lancer dans la recherche. Nous avons découvert que nous avions suivi cette même évolution. Il y avait également Claude Bétourné, un physicien qui abandonnait la physique pour l'informatique, et deux « jeunes » qui venaient d'obtenir leur diplôme d'ingénieur, Jean Ferrié et Jacques Mossière.

Notre objectif était de construire un système d'exploitation directement sur la machine nue, en temps partagé, interactif et conversationnel. Malgré notre peu d'expérience dans la construction de systèmes d'exploitation, nous avons choisi cette démarche très ambitieuse car le domaine était alors en pleine effervescence, et tout nous semblait possible. C'était le moment où la conception des systèmes d'exploitation passait du statut empirique à celui de domaine scientifique. C'était l'époque de Multics au MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), et dans le même temps Dijkstra jetait les bases scientifiques de la synchronisation.

Henri Boucher nous a fait confiance. Une contrepartie de la faible structuration de l'Iria était que nous étions très libres, dès lors que nous avions l'approbation du directeur de recherche et Henri Boucher nous couvrait. Le projet Ésope (tel était le nom de notre système) a ainsi duré jusqu'en 1972–1973. Nous avons vécu une époque extrêmement excitante. La notion de projet, telle qu'elle est définie aujourd'hui à l'Inria, n'existait pas, elle n'était pas formalisée, mais nous avons travaillé selon ce mode. Nous étions cinq personnes travaillant en étroite coopération, écrivant beaucoup. Nous avons été aidés sur ce point par le fait que la machine a été livrée avec un an de retard...

V. S. : *Vous publiez et communiquiez dans quelles revues à ce moment-là ?*

S. K. : Nous avons participé à la deuxième conférence sur les principes des systèmes d'exploitation, qui se tenait à Princeton et où étaient notamment présents tous les gens de Multics : Fernando Corbató, Jack Dennis, et les autres, ce qui nous impressionnait beaucoup. C'est toujours une conférence de très grand prestige. Notre papier a ensuite été sélectionné pour les *Communications of the ACM*. Nous avons aussi communiqué au congrès IFIP, qui accueillait à l'époque davantage de présentations scientifiques. Nous avons donc beaucoup réfléchi et écrit en amont, et quand

---

6. Cf. l'entretien mené avec Claude Kaiser dans ce numéro.

la machine est arrivée, le système a pu être développé très vite grâce à cette préparation.

V. S. : *Les travaux se faisaient sur une machine CII 10070 ?*

S. K. : Oui, la CII vendait sous licence des machines américaines de SDS (*Scientific Data Systems*), entreprise de la côte ouest des États-Unis qui fut plus tard rachetée par Xerox. Le SDS Sigma 7 était un ordinateur de milieu de gamme, d'abord distribué, puis fabriqué sous licence par la CII sous le nom de CII 10070. Début 1972, le système Ésope fonctionnait et servait 16 terminaux, et dans le même temps une équipe voisine avait développé sur Ésope un PL/I conversationnel (le langage « universel » de l'époque). Une autre équipe avait développé des applications graphiques. Et pourtant Ésope a été brutalement arrêté au milieu de 1972<sup>7</sup>, bien que quelques travaux se soient poursuivis jusqu'en mi-1973.

V. S. : *Pour quelles raisons ?*

S. K. : Comme je vous le disais, l'Iria n'était pas très structuré, et a eu dans ses années de jeunesse un parcours chaotique. Il a même failli disparaître. Ç'aurait été dommage !

Il n'y avait pas réellement d'évaluation scientifique, c'est la Délégation à l'informatique, qui pilotait la mise en œuvre du plan calcul, qui donnait son avis. Aujourd'hui l'Inria a un système d'évaluation très élaboré, que j'ai pu voir précisément à l'œuvre car j'ai participé au conseil scientifique de l'Inria et ai été membre de plusieurs projets. À l'époque ce système d'évaluation n'existait pas, c'était plutôt le fait du prince. En 1972 avec le changement de direction à la tête de l'Iria<sup>8</sup>, il y a eu une réorganisation des activités, qui étaient très variées, des restructurations et redéfinitions, dont certaines étaient sans doute nécessaires. Mais ce ménage a été brutal, notre projet a ainsi été arrêté sans justification ni évaluation. Je pense que la Délégation à l'informatique n'avait pas une vue très claire de ce qu'était un projet de recherche et qu'elle aurait voulu qu'on fournisse un système d'exploitation pour la CII<sup>9</sup>... Et la CII nous regardait alors un peu de haut. Il y a eu une incompréhension de ce que nous avons réalisé et surtout de la compétence et du savoir-faire acquis, et notre équipe s'est trouvée dispersée.

Entre temps nous avons tous soutenu une thèse : Claude Kaiser et moi avons passé nos thèses d'État à Paris 6 avec pour directeur Jacques Arzac. Elles portaient sur les systèmes d'exploitation et reposaient largement sur nos travaux menés à l'Iria.

---

7. Sur l'histoire du projet Ésope par ses concepteurs, voir Claude Bétourné, Jean Ferrié, Claude Kaiser, Sacha Krakowiak, Jacques Mossière, « Ésope : une étape de la recherche française en systèmes d'exploitation (1968–72) », Article publié dans les *Actes du 9<sup>e</sup> Colloque sur l'histoire de l'informatique et des télécommunications* (CHIR 2004), Rennes, 16-18 novembre 2004. <http://lig-membres.imag.fr/krakowia/Files/Publi/esope.pdf>

8. André Danzin remplace alors Michel Laudet à la tête de l'institut.

9. L'entreprise naît en même temps que l'Iria dans le cadre du plan calcul.

Les plus jeunes avaient soutenu des thèses de 3<sup>e</sup> cycle ou de docteur-ingénieur. Je suis alors parti à la mi-1973 à Grenoble pour y être maître de conférences, un an après Jacques Mossière, qui y avait déjà obtenu un poste de maître-assistant.

V. S. : *Vous quittez Paris pour Grenoble. S'ouvre alors une nouvelle phase... Vous aviez déjà enseigné ?*

S. K. : J'ai commencé à enseigner assez tôt et j'avais en effet une expérience avant d'aller à Grenoble. J'avais déjà le goût de l'enseignement. Quand nous avons construit Ésope, nous avons été sollicités notamment à Paris 6 par Claude Girault pour faire un cours concentré sur les systèmes d'exploitation à destination des étudiants de DEA, à la fin de 1970. Nous sommes aussi intervenus à l'AFCEC pour la première école d'été d'informatique en 1971. À l'issue de cette formation sur les systèmes d'exploitation, on nous a demandé si nous avions des notes de cours. Nous n'en avons pas et Claude Pair, qui dirigeait cette école, nous a suggéré de faire un livre. Nous l'avons rédigé à plusieurs, avec d'autres collègues, entre autres Jean-Pierre Verjus, sous le nom collectif de Crocus. Cet ouvrage<sup>10</sup>, paru chez Dunod en 1975, est resté la base sur les systèmes d'exploitation en France pendant une décennie. Nous avons beaucoup apprécié cette expérience de rédaction collective et nous l'avons poursuivie plus tard sous le nom de Cornafion avec un livre sur les systèmes répartis. D'autres encore ont suivi, à l'occasion de très nombreuses écoles d'été (ou d'hiver, ou de printemps) que nous avons organisées entre diverses équipes à mesure de l'avancement de nos projets, pour diffuser les connaissances.

V. S. : *Grenoble est déjà un important centre d'enseignement en informatique...*

S. K. : Grenoble est, avec Toulouse et Paris, un des lieux où se sont créés les premiers enseignements d'informatique. J'ai enseigné à l'université dans la maîtrise d'informatique, ou encore à l'Institut de programmation dont l'objectif était de former des bons techniciens en informatique. C'était une formation originale (il n'en existait que deux, à Paris et à Grenoble) qui n'entrait pas dans le cadre de la licence/maîtrise et qui délivrait ses propres diplômes. J'ai donc fait des cours dans ces différentes formations et j'ai pris la direction de l'Institut de programmation à la suite de Noël Gastinel à partir de 1975. J'ai aussi enseigné à l'Ensimag (École nationale supérieure d'informatique et de mathématiques appliquées de Grenoble), dont certains cours étaient alors communs avec la maîtrise.

En arrivant à Grenoble, j'étais très content de rejoindre Jacques Mossière. Nous avons commencé à former une petite équipe pour travailler sur les systèmes d'exploitation, mais le contexte était peu favorable. En 1973/1974 a eu lieu en effet le premier choc pétrolier et les restrictions de budget ont d'abord frappé la recherche.

---

10. Voir : <http://cnum.cnam.fr/RUB/histcrocus.pdf>, l'histoire de Crocus par le groupe lui-même.

Il était alors difficile de trouver des bourses de thèse. Mais surtout, plus grave : on était aussi à l'époque du plan calcul et on n'avait pas le droit d'acheter autre chose que du matériel français. Cela nous coupait de la communauté internationale qui, en systèmes d'exploitation, travaillait beaucoup autour d'Unix, alors en pleine expansion. Et nous, on ne pouvait pas ! Unix tournait sur PDP-11 et il n'était pas question d'en acheter un. Aussi nous nous sommes repliés sur le génie logiciel, domaine dans lequel nous avons travaillé pendant une dizaine d'années.

V. S. : *Ce passage des systèmes d'exploitation au génie logiciel se fait avec aisance ?*

S. K. : À l'époque le génie logiciel débutait. La conférence fondatrice sur le *software engineering* a eu lieu seulement en 1968. Mais le passage d'une activité à l'autre n'a pas été difficile après notre expérience dans Ésope. Quand je regarde *a posteriori* notre organisation, je me dis que nous avons vraiment pris les bonnes décisions et adopté les bonnes pratiques. Chacun de nous était à la fois concepteur et programmeur. Chacun était impliqué dans la réalisation d'une partie du système, mais les sous-groupes étaient restructurés en fonction des besoins et chacun connaissait l'ensemble du système et pouvait intervenir dans chaque partie du code. Les décisions étaient documentées, nous avons écrit une trentaine de rapports de travail, mais aussi, durant ces quatre années du projet, soixante-dix « fusées volantes », des notes spontanées sur tel ou tel aspect technique, souvent très approfondies. À l'époque nous avons fait quelques erreurs qui nous ont servi d'expérience<sup>11</sup>. Par exemple quand on construit un système par morceaux, on se heurte à des problèmes de communication, de compatibilité entre modules. Ces pièges et difficultés rencontrés nous ont inspirés pour mener un travail de recherche autour de la programmation modulaire.

Construire un système à partir de modules séparés n'est pas simple, ce n'est pas juste découper le système en petits morceaux. Il faut d'abord définir des bons critères de décomposition. Ensuite, lors de l'assemblage, l'ensemble peut ne pas marcher alors que chaque morceau fonctionne correctement. Il faut aussi pouvoir décrire

---

11. Claude Bétourné, Jean Ferrié, Claude Kaiser, Sacha Krakowiak, Jacques Mossière, « Ésope : une étape de la recherche française en systèmes d'exploitation (1968-72) », article publié dans les *Actes du 9<sup>e</sup> Colloque sur l'histoire de l'informatique et des télécommunications* (CHIR 2004), Rennes, 16-18 novembre 2004, p. 15 : La notion même de génie logiciel était naissante à l'époque. [...] La définition des versions successives s'est directement appuyée sur la structuration du système, et a bien fonctionné : ainsi, l'ensemble des processus du moniteur étaient présents dès la première version ; leur contenu était rudimentaire mais leur mécanisme d'interaction était en place et a donc pu être validé très tôt. [...] Nous avons néanmoins sous-estimé l'intérêt de construire nos propres outils de mise au point, notamment en mémoire virtuelle. Le seul outil réalisé (le journal d'exécution des processus) s'est révélé très précieux. Nous avons aussi découvert à l'usage les erreurs subtiles résultant de l'absence de contrôle de types entre modules. <http://lig-membres.imag.fr/krakowia/Files/Publi/esope.pdf>

l'architecture d'ensemble du système. À l'époque se développaient les premiers langages pour l'interconnexion de modules, un domaine de recherche toujours ouvert aujourd'hui.

Nous avons notamment collaboré avec le Centre national d'études des télécommunications (Cnet), ce qui nous a apporté une source de financement, autour du programme Concerto. Et cela a permis le recrutement de thésards.

Ensuite nous sommes passés de la programmation modulaire aux problèmes de gestion de versions. Quand un système important est en développement, sa construction s'étend sur plusieurs années, la maintenance aussi, ce qui pose le problème de la gestion des versions successives ou concurrentes, du maintien de leur cohérence, du suivi des modifications, etc. Nous avons construit un système de gestion de versions appelé Adèle<sup>12</sup>, que nous avons présenté au premier symposium ACM sur les environnements de développement de logiciel, en 1984. Ce travail a suscité beaucoup d'intérêt : à la suite de l'exposé j'ai été invité à le présenter à IBM Watson, aux Bell Labs, et à Brown University. Un membre de notre équipe, Jacky Estublier, a ensuite monté un petit groupe sur ce thème. Le système Adèle, enrichi et perfectionné, a été pris sous licence par Dassault Systèmes, et cette collaboration s'est traduite plus tard par la création d'un laboratoire commun qui a fonctionné pendant quelques années. Puis en 1981 les restrictions sur l'achat du matériel ont été levées...

V. S. : *Ce qui vous ouvre alors de nouvelles perspectives...*

S. K. : Absolument, sur les réseaux locaux, les systèmes répartis, développés dès le milieu des années 1970 notamment au PARC, le centre de recherche de Xerox.

Donc à partir de 1983–84 nous nous sommes lancés dans les systèmes répartis, nous avons pu travailler sur des stations Sun, sur le réseau Ethernet. Cette nouvelle phase a été très intéressante, car une fois de plus nous étions dans un domaine en pleine effervescence. Entre temps, en 1981, j'étais allé passer six mois à Carnegie Mellon dans l'équipe de Nico Habermann, qui était le chef du département d'informatique, pour travailler sur un projet de génie logiciel assez voisin de ce que nous faisons à Grenoble. Carnegie Mellon était par ailleurs très en avance sur les équipements. Comme le MIT et Stanford, ils avaient bénéficié d'un don de Xerox et avaient des machines Alto, précurseurs de ce tout ce qui s'est fait plus tard en informatique personnelle, avec écran à points, applications WYSIWYG, Ethernet, imprimantes à laser. Ils avaient plus d'une douzaine de ces machines alors que nous travaillions à Grenoble sur des terminaux 24 lignes, 80 colonnes. Ça a été un peu le choc au retour, mais cela nous a donné des idées de travail sur les systèmes répartis.

V. S. : *Vous travaillez notamment sur cette question au sein du centre Bull-IMAG ?*

12. Voir Jacky Estublier, Said Ghoul, Sacha Krakowiak, « Preliminary experience with a configuration control system for modular programs », ACM SIGSOFT, Vol. 9, No 3, May 84. pp. 149–156. <http://lig-membres.imag.fr/krakowia/Files/Publi/adele-experience.pdf>

S. K. : Oui, il s'agit d'une étape importante. À Grenoble il y a une tradition forte de collaboration entre recherche et industrie. Dès 1967 avait été créé un centre scientifique IBM sur le campus, au sein duquel collaboraient des ingénieurs d'IBM et des chercheurs de l'IMAG. Ce centre a été fermé en 1974 et remplacé par un centre CII, puis Bull, qui comptait une quinzaine d'ingénieurs, mais ceux-ci avaient de plus en plus tendance à fonctionner en autonomie. À la fin des années 1980 nous avons souhaité relancer la collaboration entre les équipes de Bull et celles de l'IMAG pour pleinement bénéficier de ce gisement de compétences et nous avons décidé de créer une unité mixte. Cette idée était nouvelle, elle était mise en pratique au CNRS certes, mais pas vraiment en informatique. Nous avons été très soutenus par Jean-Pierre Verjus, qui était alors directeur de l'IMAG. L'unité mixte Bull-IMAG était dirigée par Roland Balter, qui avait été responsable du centre scientifique Bull. Elle a notamment travaillé sur la construction d'un système réparti expérimental pour faire de la programmation d'applications réparties. Nous nous sommes retrouvés de nouveau dans le mode projet expérimenté au cours d'Ésope, mais avec une équipe plus importante, une trentaine de personnes.

V. S. : *Vous appréciez cette façon de travailler..*

S. K. : Entre 1973 et la fin des années 1980, nous avons essayé de retrouver ce mode projet à Grenoble, mais c'est plus difficile dans le monde universitaire, car les enseignants-chercheurs se consacrent à leurs recherches à temps partiel, en plus de leurs tâches d'enseignement. Or travailler en mode projet en pointillé, cela fonctionne moins bien. Au centre Bull-IMAG beaucoup de personnes étaient à plein temps dans la recherche. J'ai moi-même demandé un détachement : pendant plusieurs années j'étais quasiment à temps plein donc sur les activités de recherche, même si je gardais quelques activités d'enseignement, pour attirer aussi des étudiants.

Le début des années 1990 était aussi une époque favorable pour les financements. C'était notamment la grande époque des projets européens dont ESPRIT. Nous avons avec des partenaires portugais et irlandais monté un projet qui était un sur-ensemble de ce qui se faisait au centre Bull-IMAG sur la construction de systèmes répartis. C'était le moment d'émergence des intergiciels (*middleware*), couche logicielle entre le système d'exploitation et l'application. Nous avons travaillé sur ce domaine émergent localement et au plan européen. Nos partenaires irlandais ont très bien valorisé ce travail commun en créant une entreprise, Iona, qui vendait de l'intergiciel pour fabriquer des applications réparties. À l'époque il n'existait pas beaucoup de produits. Ils ont eu des clients dans le domaine des banques, des assurances. De notre côté le développement industriel s'est fait plus tard, de façon indirecte. Au sein de notre unité mixte, nous avons fabriqué un prototype d'intergiciel nommé Guide <sup>13</sup>

---

13. Voir <http://lig-membres.imag.fr/krakowia/Files/Publi/94-Guide-OOPSLA.pdf>

pour développer des applications sur un système réparti en réseau. Nous avons cherché à le valoriser à l'intérieur de Bull, mais cela ne s'est pas très bien fait. Cela n'a pas pris, je crois, car nous étions un peu trop en avance techniquement. Pour favoriser l'adoption d'un nouveau produit, il ne faut pas trop bouleverser les habitudes des utilisateurs, or nous avons essayé de pousser les concepts le plus loin possible, y compris en définissant notre propre langage de programmation, un langage à base d'objets.

V. S. : *Cette unité mixte existe-t-elle toujours ?*

S. K. : Bull-IMAG a duré cinq ans, puis le CNRS a décidé de ne pas la prolonger pour des raisons qui me sont inconnues. L'équipe de Joseph Sifakis avait également créé une unité mixte, Verimag, avec la société Verilog, et celle-ci n'a pas non plus été reconduite. Or nous étions habitués désormais à travailler avec les gens de Bull et nous avons trouvé un cadre de travail auprès de l'Inria, qui venait de créer un centre de recherche à Grenoble. Aussi en 1996 nous avons créé un projet de recherche Inria à partir de ce que nous avons fait dans Guide avec Bull et nous nous sommes installés dans les locaux de l'Inria fraîchement construits.

Le projet Sirac<sup>14</sup> avait un spectre assez large dans le domaine des systèmes répartis, touchant à la fois aux aspects matériels et logiciels. Les gens de Bull voulaient valoriser leur expérience dans les systèmes répartis, ce qui a donné lieu à deux start-ups, Scalagent Technologies sur les bus logiciels, et la plus connue, Kelkoo, comparateur de prix issu du travail d'un sous-groupe de Bull-IMAG qui travaillait sur les bases de données réparties. Kelkoo a plus tard été rachetée par Yahoo !

En 2002, à l'arrivée de Jean-Bernard Stefani qui venait du Cnet, un nouveau projet a été créé, appelé Sardes, consacré à la programmation par composants et aux systèmes adaptables autonomes, qui gèrent eux-mêmes leur propre configuration (pour résister aux défaillances, pics de charge, etc.), en associant des concepts d'informatique et d'automatique. Le projet a continué<sup>15</sup> jusqu'en 2012, tandis que j'ai pris pour ma part ma retraite en 2007.

V. S. : *Je suppose que vous n'avez pas arrêté complètement vos activités en 2007 malgré tout...*

S. K. : En effet. En 2007 je continuais dans ce projet, on n'arrête pas brutalement, on continue à participer aux réunions, à relire des papiers, à suivre quelques étudiants. C'est un point sur lequel j'aimerais insister. À Grenoble nous avons accompagné

---

14. Voir <https://www.inria.fr/equipes/sirac> et Roland Balter, Sacha Krakowiak, 2001 : <http://lig-membres.imag.fr/krakowia/Files/Publi/bilan-sirac.pdf> « Bilan des activités du laboratoire et du projet Sirac ».

15. Voir <https://www.inria.fr/equipes/sardes>

énormément de thésards, une dizaine en génie logiciel, une quinzaine dans Bull-IMAG, une vingtaine dans Sirac puis également dans Sardes, des gens qui trouvaient à être ensuite facilement embauchés et dont beaucoup sont partis vers l'industrie.

Sur le plan de l'enseignement, pendant toutes ces années, j'ai essayé de promouvoir des formations professionnelles à côté de formations plus académiques. La direction de l'Institut de programmation, la création d'un DESS de génie informatique, le lancement d'une formation d'ingénieur en informatique à Polytech Grenoble, les débuts d'un Master international maintenant très fréquenté. J'ai été très satisfait de participer au développement de ces formations et de les voir fonctionner. Et puis, progressivement, j'ai commencé à me retirer et mon intérêt s'est tourné vers l'histoire de l'informatique.

V. S. : *Vous êtes actif dans l'Aconit<sup>16</sup> et le projet d'un musée de l'informatique.*

S. K. : Il n'y a en effet pas de musée de l'informatique digne de ce nom en France. Nous avançons, mais pas aussi vite que nous le souhaiterions. Je fais également des conférences grand public et des exposés plus spécialisés sur l'histoire de l'informatique, et je contribue au site Interstices<sup>17</sup>. Et depuis l'an dernier je donne un cours d'histoire de l'informatique qui a été introduit à l'Ensimag<sup>18</sup>. Depuis longtemps j'avais cette volonté d'introduire des cours d'histoire des sciences, ce qui me semble un complément indispensable à une formation scientifique et technique. Ça ne marchait jamais, pour de bonnes ou mauvaises raisons, ça a fini par marcher !

V. S. : *Pour conclure, si je devais vous demander ce que vous retenir comme points saillants, comme « leçons » de toutes ces années.*

S. K. : La question n'est pas simple, mais je crois que j'insisterais sur le travail collectif sous forme de projet. Ce mode de travail, cette culture de projet que nous avons instinctivement adoptés autour d'Ésope sont extrêmement enrichissants, efficaces, productifs notamment pour les doctorants ; et en plus c'est très gratifiant. Un autre aspect pour moi très important est l'interaction étroite entre théorie et pratique, chacune des démarches fécondant l'autre. On les oppose souvent, mais je dirais que « théorique » ne veut pas dire « coupé du réel », et que « pratique » ne veut pas dire « non rigoureux ». L'informatique est une science toute jeune, j'ai eu la chance d'assister ou de contribuer à un certain nombre d'émergences : les langages de programmation, l'approche scientifique des systèmes d'exploitation, des systèmes répartis, le génie logiciel, la révolution à Xerox Parc au milieu des années 1970, que j'ai eu la

---

16. Association pour un conservatoire de l'informatique et de la télématique, l'Aconit a pour but de favoriser la conservation, la diffusion et le développement du patrimoine matériel, intellectuel et des savoir-faire constitués au cours de l'évolution de l'informatique. <http://www.aconit.org/spip/>

17. Site de diffusion de la culture scientifique en informatique ; voir <https://interstices.info/>

18. Voir <http://lig-membres.imag.fr/krakowia/Files/Enseignement/Histoire-Informatique/>

chance de visiter. Avec le recul, je pense que nous sommes « passés à coté » d'avancées majeures : Ésope aurait pu donner Unix, Guide aurait pu donner Java... Mais de nombreuses équipes sont certainement aussi dans ce cas.

V. S. : *Et votre regard sur l'informatique aujourd'hui ?*

S. K. : J'ai quelques sujets d'inquiétude sur son rythme accéléré, et sur des questions qui relèvent davantage de l'éthique et d'enjeux sociétaux. La jeune génération n'a plus les mêmes conditions que celles que nous avons connues et cela ne favorise pas forcément la culture de projet et le sens de l'effort collectif. Les gens de ma génération ont eu beaucoup de chance, il y avait une grosse demande, tout était à faire, l'ouverture était peut-être plus grande, avec un petit côté *Far West*, mais nous n'en étions pas nécessairement conscients.



### J'ai eu une carrière à l'envers

Entretien avec Claude Kaiser  
(Cédric Neumann, Camille Paloque-Berges et Loïc Petitgirard)

---

*Le parcours original de Claude Kaiser, chargé de cours au Conservatoire national des arts et métiers (Cnam) dès 1969 et devenant titulaire de la chaire d'informatique-programmation de 1982 à 2006, donne une idée précise d'un domaine disciplinaire en train de se constituer au carrefour de réalités sociales, professionnelles, techniques, et scientifiques hétérogènes. Il permet aussi d'appréhender une certaine typicité des profils d'enseignants-chercheurs du Cnam tout en se démarquant des profils universitaires. La normalité dans les parcours d'informaticiens n'existe toutefois pas dans les années 1960–1970, moment où commence notre portrait de Claude Kaiser. Les premières carrières universitaires se spécialisant dans le domaine informatique tendent à être celles d'étudiants formés aux mathématiques théoriques et appliquées, devenant maîtres-assistants puis enseignants-chercheurs, selon un parcours académique relativement classique. Le jeune INRIA, fondé en 1967 sous le nom d'Institut de recherche en informatique et automatique, est le premier établissement dédié entièrement à la recherche dans le domaine (que ce soit en recherche appliquée ou théorique). Au Cnam, cependant, point encore de recherche ; tradition oblige, c'est un enseignement tourné vers les industries qui prime. L'une des originalités du Cnam est l'importance des demandes en formation émises aussi bien par les étudiants (traditionnellement appelés « auditeurs ») que par les industriels : la sous-traitance de formations par les entreprises au Cnam a permis d'accueillir les premiers enseignements en mécanographie puis en informatique dans l'établissement dès les années 1950, et le département restera marqué par une forte demande en compétences techniques directement applicables au métier – plutôt que des approches plus généralistes et plus scientifiques.*

*Claude Kaiser trouve à son arrivée au Cnam, en 1969 comme chargé de cours à l'Institut d'informatique d'entreprise, puis à partir de 1974 en tant qu'enseignant titulaire, un département mathématiques-informatique modeste par sa taille, par rapport aux grands départements historiques de l'établissement. Trois chaires structurent ses activités de formation. La chaire de mathématiques générales en vue des applications, tenue par Alexis Hocquenghem (célèbre co-auteur des codes BCH<sup>1</sup> correcteurs d'erreur); celle de machines mathématiques, tenue par Paul Namian (réputé notamment pour ses cours d'informatique générale retransmis sur l'ORTF par Télé-Cnam au début des années 1970); enfin, celle d'informatique-programmation, dévolue à François-Henri Raymond (créateur de la SEA, constructeur d'ordinateurs créé en 1948, le premier en France) depuis 1973, auquel succède Kaiser moins d'une décennie plus tard. Le département atteint une taille critique dans les années 1970, grâce à l'afflux de demandes de formation. Les chaires sont le support d'un système hiérarchique faisant partie de l'identité historique du Cnam. Ce système crée des effets de dépendance très forts, dans des services tenus par les titulaires de chaire au pouvoir avéré; mais à l'inverse, il laisse aussi des espaces de liberté. Claude Kaiser, profitant de cette liberté, initiera une logique d'expérimentation qui aura des résultats scientifiques aussi bien qu'institutionnels : une entrée des informaticiens du Cnam dans la recherche, et la création de structures dédiées, indépendantes de la hiérarchie historique des chaires. Il trouve en effet au Cnam un microcontexte étonnamment favorable au développement de logiques de recherche, en les personnes d'Alexis Hocquenghem et de François-Henri Raymond. Tous deux sont des figures représentatives de l'alliance du savant et de l'ingénierie au cours des Trente Glorieuses, proches des espaces d'expérimentation déployés au sein du Génie Maritime, dont est issu Kaiser. Le premier fait partie de la génération de mathématiciens intéressés aux machines via l'effort scientifique de guerre; le second est un moteur d'une inventivité industrielle non départie d'un goût pour la formalisation théorique. L'entrée tardive du Cnam dans le périmètre des formations doctorales ralentira la montée en généralité des travaux informatiques, déjà quelque peu freinée par les demandes fonctionnelles des mondes industriels. Rejoignant le Cnam après une décennie de formation à la recherche à l'INRIA, Claude Kaiser va ici jouer un rôle déterminant, en lançant une dynamique de recherche volontairement indépendante du pouvoir des chaires, qui progressivement se consolidera pour aboutir à la création du laboratoire CEDRIC à la fin des années 1980.*

Cédric Neumann, Camille Paloque-Berges et Loïc Petitgirard<sup>2</sup>

1. Le code BCH ainsi nommé par les initiales de ses inventeurs : Bose, Ray-Chanhuri, Hocquenghem.

2. Entretien réalisé au Cnam le 14 octobre 2015 et co-publié avec la revue *Technique et science informatiques* (TSI). Un grand merci à Lise Cloître, cheffe du service des archives du Cnam, de nous avoir accompagnés dans nos recherches jusqu'à la dernière minute.

Question : *Au tournant des années 1950–1960, vous êtes jeune polytechnicien, et vous allez vous spécialiser en informatique. Qu'est-ce qui préside à ce choix, comment cette spécialisation a-t-elle lieu, dans un contexte où l'offre de formation en informatique n'existe pas ? Qui vous y introduit ?*

Claude Kaiser : Il n'y avait pas de cours d'informatique à mon entrée à Polytechnique en 1957. Comme je m'intéressais à la science et aux techniques, j'ai choisi l'École nationale supérieure du génie maritime (ENSGM) comme école d'application à la sortie de l'X. C'est là que j'ai suivi mes premiers cours d'informatique auprès d'Henri Boucher qui enseignait la structure des ordinateurs en amphî. Boucher est un polytechnicien, ingénieur du génie maritime, qui s'était formé en autodidacte à l'informatique – comme les autres pionniers de l'époque.

C'était un sujet neuf, intéressant sur le plan intellectuel. J'ai ensuite profité d'une année de formation complémentaire pour suivre les sections spéciales de l'Institut national polytechnique de Grenoble<sup>3</sup>, en automatique auprès de René Perret, et en informatique auprès de Jean Kuntzmann, Noël Gastinel, Louis Bolliet, ou encore Paul Namian – je retrouverai d'ailleurs ce dernier au Cnam. Pendant cette année de spécialisation, j'ai côtoyé un chercheur qui faisait le premier compilateur Algol pour la machine CAB 500, et j'y ai appris à faire des programmes en langage machine sur CAB 500 et sur IBM 7040, en Fortran et en Algol, tout en suivant à l'université les cours de Noël Gastinel en analyse numérique. La machine IBM n'étant pas encore livrée, les élèves écrivaient leurs programmes sur papier et Jean-Claude Boussard qui préparait alors sa thèse d'état, prenait le train vers l'Italie pour aller les faire exécuter sur une machine IBM, et nous ramenait les listings et les résultats. À l'époque, il n'était pas question de travailler par essais/erreurs successifs, car pour limiter le nombre d'essais et d'allers-retours de Boussard, on devait essayer de comprendre à partir du manuel d'où venait l'erreur.

*Dans ces années-là, les DRME et DGRST<sup>4</sup> étaient mises en place, signes d'une volonté étatique d'impulser des projets scientifiques. Comment vos premiers travaux se sont-ils développés dans ce contexte ? En effet, vous avez fait le choix d'entrer dans une carrière industrielle, comme de nombreux polytechniciens qui entreront plus tard dans des SSII, mais vous vous initiez à la recherche.*

---

3. L'INPG, initialement institut d'une des facultés de l'université de Grenoble, devient un institut national polytechnique en 1969, prenant le statut d'établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel (EPSCP). C'est en son sein qu'a été créé l'IMAG (l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble).

4. La DRME (Direction des recherches et moyens d'essais) et la DGRST (Délégation générale à la recherche scientifique et technique) ont été des instruments de l'organisation de la recherche en France. La DRME est « constituée en 1961 pour promouvoir les recherches et doter la délégation ministérielle à l'Armement de nouveaux moyens d'essais » (Marec, 2013, p.16. Voir aussi Pestre et Jacq, 1996 ; Duclert, 2001). LA DGRST, créée la même année « coordonne [...] les actions décidées par le gouvernement, les universités et le CNRS dans le domaine de la recherche et des technologies » (fiche Wikipédia).

C. K. : J'ai eu une carrière à l'envers : activité d'ingénieur, puis recherche et enfin enseignement [plus tard au Cnam]. Développer une application avant de plonger dans la recherche, c'est l'inverse de ce qui se fait d'habitude. Entre 1963 et 1968, je suis engagé à la Direction centrale des constructions navales (DCAN) pour travailler avec Henri Boucher qui était chargé d'installer dans le premier sous-marin nucléaire français les calculateurs numériques utilisés pour la conduite de tir des missiles de la force de dissuasion. Ces machines ne devant servir qu'occasionnellement (pour des tirs d'essais, car il n'y a heureusement jamais eu de tirs réels) la DCAN a voulu en profiter pour faire des expériences. Boucher avait développé l'architecture matérielle d'un système embarqué multimachine, dans l'inspiration du système américain en temps réel SAGE. Le premier projet se servant de ces calculateurs en temps réel devait commander l'asservissement d'une visée astrale utilisant un périscope pour faire le point en plongée périscopique, car on avait besoin de moyens de localisation discrets et précis pour recalculer la position géographique du sous-marin. Ce projet combinait des asservissements analogiques et des asservissements échantillonnés. On a ensuite relié l'ordinateur à des capteurs (périscopique et acoustique) sur le sous-marin, et créé une centrale de données avec les données récoltées. Des programmes aidaient le commandant à prendre ses décisions. Il y avait sous-jacents de jolis problèmes scientifiques, comme celui où on devait calculer les trajectoires des autres navires en utilisant seulement des relevés angulaires, écoute passive oblique. J'étais chargé, sous la direction de Boucher, de l'architecture logicielle et de la coordination des programmes de ces projets d'informatique embarquée. Ces programmes étaient conçus et programmés dans un langage machine rudimentaire, et sans outils de génie logiciel, par une équipe de scientifiques du contingent sortant d'écoles d'ingénieurs. Tout était à faire, l'informatique temps réel naissait. Mais on était jeunes, curieux et enthousiastes. J'ai ensuite fait de la veille scientifique pendant un an à la DRME, en charge de financer des projets scientifiques en informatique.

Je m'étais tenu au courant du développement de l'informatique en suivant les séminaires de l'AFCEC<sup>5</sup>, en particulier le séminaire « Machines » où Boucher faisait présenter par les constructeurs les nouvelles machines qui arrivaient sur le marché (l'IBM 360, le Burroughs B5000 ou l'UNIVAC par exemple). J'avais aussi assisté aux journées d'étude organisées à Grenoble par Louis Bolliet sur le temps réel qui était notre domaine de travail à la Marine. Jusqu'alors, j'avais eu des responsabilités très techniques, presque de recherche, dans un domaine nouveau, celui de l'informatique temps réel. Je n'avais envie ni de virer vers un travail administratif, ni de « faire l'ingénieur commercial » dans le privé, c'est-à-dire de vendre des produits ou

---

5. Association française pour la cybernétique économique et technique. Colette Hoffsaes retrace son histoire dans les actes du Colloque d'histoire de l'informatique (1988).

des projets à réaliser, en utilisant mon carnet d'adresses du STCAN<sup>6</sup>. Je souhaitais garder ma liberté. J'ai bien été tenté par la Bull (qui s'appelait Bull-GE à l'époque), où un des concepteurs de la machine 64, lui-même ancien du GM, m'avait proposé de les rejoindre. Je connaissais aussi des gens à la SESA<sup>7</sup>, à la STERIA<sup>8</sup>... Mais j'avais l'esprit mal tourné : je préférais rester indépendant et parfois m'amuser à concevoir des programmes comme la « sticthèque », une petite base de données de textes.

*Faut-il avoir l'« esprit mal tourné » pour faire de la recherche ? Quelles étaient les réflexions sur la conceptualisation et la théorisation en informatique à l'époque ? Quels échanges scientifiques avaient lieu ?*

C. K. : Le travail à la Marine<sup>9</sup> a donné lieu à une publication dans la revue de l'AFIRO<sup>10</sup>. Mais nous n'avions pas de contact avec les chercheurs internationaux, car nous étions dans un milieu fermé. Nous avions des contacts avec les industriels, en particulier avec les vendeurs de matériel américain comme la CAE – il n'y avait quasiment pas de constructeurs en France, mis à part la Bull et la SEA.

J'ai eu l'opportunité en 1968 de rejoindre l'IRIA (devenue l'INRIA par la suite) qui venait d'être créé par (Michel) Laudet avec la participation de Boucher, Lions, Schützenberger. Boucher avait recruté à l'IRIA des ingénieurs ayant pris goût aux aspects scientifiques, comme moi, comme Sacha Krakowiak, également un ancien du STCAN, des ingénieurs tout juste diplômés comme Jacques Mossière ou Jean Ferrié, un physicien venant de passer sa thèse d'état, Claude Bétourné. Boucher nous a dit un jour à l'IRIA, avec son humour militaire et en visionnaire comme il en avait l'habitude : « Les Américains ont développé un système en temps partagé et un compilateur du langage PL/1<sup>11</sup>. À vous de jouer pour en faire autant, formez-vous, informez-vous, débrouillez-vous ». On a pu rencontrer des chercheurs américains grâce à Michel Laudet qui avait des contacts avec Caltech et qui les faisait venir à l'INRIA dans le cadre du Plan Calcul. Et ces contacts se sont développés.

---

6. À la DCAN, le STCAN est le Service technique des constructions et armes navales (STCAN), à Balard (Paris, aujourd'hui 15<sup>e</sup> arr.). Claude Kaiser a rédigé une chronique de ses années passées au STCAN, publiée sous le titre *Le Centre de calcul de Coelacanthé* (2011).

7. Société d'études et de systèmes automatisés.

8. Société d'étude et de réalisation en informatique et automatisme.

9. Une présentation de ce travail a été faite en 2011 (Kaiser, 2011).

10. Association française d'informatique et de recherche opérationnelle, ayant fusionné avec d'autres sociétés savantes dans l'AF CET en 1968 (Hoffsas, 1988). Son support de publication est devenu la revue *TSI (Technique et science informatiques)*.

11. Le *Programming Language number 1* (Langage de programmation numéro 1) est un langage procédural développé par IBM dans les années 1960, avec pour objectif de pouvoir être utilisé par des utilisateurs différents : ingénieurs, scientifiques, commerciaux... C'est l'un des premiers langages de programmation à vocation universelle.

Dans le domaine des systèmes informatiques, une base conceptuelle et scientifique se développait aux États-Unis où le système fondateur Multics était en cours de réalisation au MIT. Par ailleurs E.W. Dijkstra avait formalisé la notion de processus et de sémaphore. C'est sur ces bases conceptuelles que nous avons conçu et réalisé à l'IRIA sur un calculateur CII 10070 le système ÉSOPE, un système en temps partagé<sup>12</sup>. Nous l'avons présenté aux États-Unis au deuxième symposium de l'ACM sur les principes des systèmes d'exploitation et nous avons publié dans les CACM et à l'IFIP, ce qui nous a donné une assise internationale.

Le dialogue avec la direction de la CII (Compagnie internationale pour l'informatique) était difficile, car on n'était pas du tout sur les mêmes objectifs. On était plus proches des équipes de recherche de la Bull. On rencontrait ses membres dans les colloques en particulier aux États-Unis ; on se rendait compte qu'on était sur la même longueur d'onde, mais cela restait des contacts informels. On ne pouvait discuter avec eux à cause d'absurdes problèmes de politique industrielle entre GE et CII. D'ailleurs, tous ces ingénieurs avaient une vision assez négative du milieu universitaire, et partant de l'IRIA.

Puis il y a eu des changements à l'INRIA, et finalement Lions en a pris la tête après qu'André Danzin<sup>13</sup> ait remplacé Michel Laudet. Danzin nous a dit : il faut savoir arrêter une recherche. Nous avons encore des expérimentations à mener, la recherche n'était pas finie, mais nous avons un système qui tournait ; d'ailleurs l'équipe du compilateur PL/1 et l'équipe de visualisation graphique s'en sont encore servi pendant deux ans, car c'était à l'époque le seul système sur CII 10070 capable de gérer une mémoire virtuelle plus grande que la mémoire physique. Nous avons une reconnaissance internationale, Krakowiak et moi-même avons soutenu nos thèses d'état sur les concepts et la réalisation d'ÉSOPE. Mais tout cela n'avait aucun poids devant la CII qui avait peur qu'on ait envie de le commercialiser et qu'on leur fasse concurrence, car elle n'avait pas de système en temps partagé à proposer. Nous avons une approche de recherche, eux avaient une approche d'ingénieurs à vocation commerciale, s'inspirant des développements d'IBM sur la gestion et le temps réel. On s'est fâchés, on a mis toutes nos cartes à la poubelle. Le code source était à l'époque stocké dans des bacs de cartes, on a donc tout perdu. On a fait autre chose. Puis les gens composant l'équipe sont partis.

*On arrive au Cnam, où vous entrez en 1974 comme maître de conférences au département mathématiques-informatique. Y aviez-vous des relations antérieures ? Quelle place avait ce département dans l'établissement ? Quel type d'enseignement allez-vous y dispenser (des cours pratiques, la théorie de la programmation), et en quoi*

---

12. Bétourné *et al.*, 2004.

13. Michel Laudet, André Danzin et Jacques-Louis Lions ont assuré la présidence de l'INRIA (IRIA jusqu'en 1979) respectivement en 1967–1972, 1972–1980 et 1980–1984. Voir Beltran et Griset, 2007.

*était-ce spécifique aux enseignements et au contexte du Cnam, par contraste avec les formations universitaires ou dans les écoles d'ingénieur ?*

C. K. : J'avais croisé François-Henri Raymond, qui était impliqué dans la création de l'INRIA, avec Laudet, Boucher et Schützenberger. Certains des techniciens travaillant avec moi au STCAN avaient suivi les cours de Paul Namian à la télévision<sup>14</sup>. Quand j'étais à l'IRIA, j'avais déjà enseigné à l'Institut d'informatique d'entreprise (IIE) du Cnam, alors qu'Étienne Pichat venait d'en être nommé directeur. L'enseignement de l'informatique était encore informel. On expliquait les concepts de la programmation, des machines, des systèmes... et on complétait par des travaux pratiques. Au Cnam, le département de mathématiques-informatique était en train de grossir sous l'influence de l'informatique. Il avait été une petite structure à côté des gros départements techniques, par exemple le département électricité, électronique et automatique (EEA). Au Cnam, le rapport aux mathématiques était particulier : ça effrayait un peu les auditeurs, et on ne les abordait pas dans une démarche descendante ; mais quand les élèves ingénieurs en avaient besoin, ils allaient les chercher – ça a été le cas pour Stéphane Natkin qui a fait son mémoire d'ingénieur sur les réseaux de Petri stochastiques avant de poursuivre jusqu'en thèse d'état. Alexis Hocquenghem, titulaire de la chaire de mathématiques appliquées, disait : « on ne fait pas des maths appliquées, mais des maths utiles, utilisables ! » Les mathématiciens n'étaient pas nombreux, mais comme on ne leur demandait pas de venir de l'industrie, ils apportaient une légitimation universitaire. Quelques-uns utilisaient les outils informatiques, comme Patrick Lascaux, polytechnicien, élève de Lions, qui a eu une chaire au Cnam avant d'entrer au CEA.

Nos cours ne se distinguaient pas tant que ça des formations générales – sauf peut-être pour Namian qui faisait de la description de machines. Il y avait deux façons d'enseigner l'informatique : dans une orientation de pratique industrielle immédiate pour former des techniciens (programmation des langages) ou dans une orientation plus générale pour former des ingénieurs avec une culture scientifique, ce que nous faisons aussi au Cnam (en s'appuyant sur l'algorithmique). Au départ, les gens venaient chercher la bonne parole sans trop savoir ce dont ils avaient besoin ; puis ils ont lu les annonces d'emploi et ont commencé à exiger des enseignements de langages à la mode – ce qui a provoqué quelques conflits, notamment avec Raymond qui luttait fortement contre ça dans les cours de cycle C (3<sup>e</sup> cycle du CNAM). Quand j'ai succédé à Raymond, il y avait, au premier cours dans l'amphithéâtre, 1 000 élèves qui m'ont interpellé sur les choix pédagogiques de l'enseignement de la programmation – les auditeurs du Cnam sont connus pour leur franc-parler et leur côté consumériste : ils veulent des choses utilisables à court terme, rapidement. Leurs demandes étaient en conflit avec la politique du Cnam qui consistait à créer des formations diplômantes, et non pas seulement un savoir-faire professionnel. Pour l'orientation

---

14. Hayat et Petitgirard, 2014.

professionnelle technique, les certificats de spécialité et d'application de 1<sup>er</sup> cycle (cycle A du Cnam) correspondent bien à une pratique et un savoir-faire immédiats. Pour un diplôme d'ingénieur, il faut monter en abstraction conceptuelle et enseigner des éléments qui se retrouvent dans plusieurs langages. Moi-même j'avais la volonté d'enseigner plus que ce qu'un constructeur peut apporter, quelque chose qui reste quand on change d'emploi ou quand l'informatique évolue<sup>15</sup>. On avait des conditions médiocres – on était en fort sous-effectif d'enseignants devant le grand nombre d'auditeurs – mais les auditeurs du Cnam sont attachants, ils viennent le soir après une journée de travail et souvent après un long trajet, ce qui motive fortement les enseignants du Cnam – je me suis toujours arrangé pour être présent aux cours hebdomadaires réguliers que je devais faire le soir hors temps ouvrable. Cette attention aux auditeurs, cette priorité à l'enseignement et à la pédagogie entraînent des contraintes qui retombent sur la disponibilité pour la recherche.

*Peu après votre arrivée, vous avez commencé à proposer que la recherche en informatique se développe au Cnam. Quelle était l'implication des membres du département mathématiques-informatique ? Comment ces propositions ont-elles été accueillies par l'administration ?*

C. K. : Raymond souhaitait déjà qu'on fasse de la recherche au Cnam, mais peu d'enseignants en avaient envie. Il avait bien intéressé quelques enseignants (Gérard-Angel Cesaroni, François-Yves Villemin, Daniel Enselme) pour travailler sur les aspects mathématiques du calcul, avec pour but de penser les machines à partir d'une formalisation mathématique. Mais à part quelques papiers, ça n'a débouché sur rien, notamment parce que Raymond était dans une période difficile : son arrivée au Cnam était la conséquence de sa mise à l'écart de la direction de la SEA quand la société a été englobée dans la CII ; à Thomson, il avait un poste de directeur honorifique ; au Cnam, il s'appuyait sur Hocquenghem et était en conflit avec Namian, ce qui a porté tort au département en termes d'attribution de postes. Par ailleurs, il était moins

---

15. Dans une présentation de la collection de synthèses rédigées pour des examens probatoires (*Synthèses informatiques du CNAM*, Hermès, 1995–1997), Kaiser écrit : « L'ingénieur Cnam en informatique doit concevoir et réaliser des travaux reposant sur les résultats de la science et des techniques. Il lui faut donc une culture scientifique et technique solide qui, face au totalitarisme de la technologie informatique, l'aide à faire preuve d'esprit critique, à avoir un irrespect réfléchi face aux solutions imposées et matraquées par les grands groupes qui installent leurs rapports de puissance sous le masque des « standards de fait ». Il doit se rappeler que « si ce n'est pas le capitaine sur la passerelle du navire qui dirige la manœuvre, ce sont les rats » (René Char), et encore et toujours la leçon de Louis Pasteur : « Il faut avoir le culte de l'esprit critique ».

L'ingénieur Cnam doit montrer un savoir faire indéniable, mais pour cela il doit appuyer sa pratique sur la réflexion, contrôler son action par la pensée et de plus en plus expliquer. Expliquer pour justifier ses choix, expliquer pour convaincre, expliquer pour rendre naturelle son autorité. Ne jamais oublier que celui « qui, dans la controverse, s'appuie sur l'autorité ne travaille pas avec l'esprit, mais avec la mémoire » (Léonard de Vinci). » (Texte fourni par l'auteur.)

un chercheur qu'un patron avec de l'intuition et d'excellents contacts avec le milieu universitaire, qu'il avait fréquenté à Grenoble, Toulouse et Paris. Namian, lui, avait voulu faire une thèse avec Kuntzmann à Grenoble, mais n'avait pas terminé ; il était resté ingénieur. Les enseignants que Namian avait recrutés étaient par ailleurs des assistants sans expérience de recherche. Certains ont été poussés à faire des thèses pour pouvoir devenir chef de travaux Cnam. Mais peu ont réussi à les terminer, car ce n'était pas des thèses de complaisance. C'est bien plus tard que les enseignants ont compris que leur promotion ne passait pas uniquement par l'enseignement. Par la suite les enseignants universitaires recrutés avaient déjà passé leur thèse.

Les auditeurs de troisième cycle (cycle C du Cnam) qui préparaient un mémoire d'ingénieur avaient une lourde vie professionnelle le jour. C'étaient des vies difficiles, ils sacrifiaient beaucoup de leur vie personnelle pour leur promotion professionnelle et sociale, et une fois ingénieurs diplômés, il leur fallait s'intégrer à nouveau dans l'entreprise avec des relations de travail qui avaient changé, car ils n'étaient alors plus des techniciens. Ils ne voulaient pas et ne pouvaient pas faire de la recherche – à l'exception des élèves de l'IIE, qui est une école d'ingénieurs.

J'ai donc continué à faire de la recherche à l'INRIA sur CHORUS<sup>16</sup>, projet dont j'ai été un temps co-responsable scientifique et qui a été à la base d'une start-up florissante, Chorus Systèmes, co-crée par Hubert Zimmermann.

En 1975, alors que Laurent Citti était directeur du Cnam, j'ai fait dans un rapport le constat d'une « absence d'équipe de recherche en informatique », et j'ai formulé des propositions pour créer un laboratoire de recherche, en m'appuyant sur les discussions que j'avais dans le département avec Gérard Florin en particulier. Ce projet était étroitement lié aux enseignements et préconisait des axes de recherche à la croisée du pratique et du théorique, afin de correspondre à ce que le Cnam faisait à l'époque. Le projet a été accueilli... gentiment. Il est passé dans le ventre mou pendant un certain temps, car personne n'y a mis les moyens en locaux et en personnels.

*Ce projet de laboratoire de recherche n'aboutit pas, du moins administrativement parlant, avant la création en 1988 du CEDRIC<sup>17</sup>. Toutefois, il existait déjà dans les années 1970 un autre service nommé « Laboratoire d'informatique », anciennement le « Laboratoire de calcul » du Cnam – qui n'était pas une structure de recherche mais de support aux travaux pédagogiques. Quels étaient les enjeux autour de cette structure, qui aurait abrité à cette époque votre première équipe de recherche au Cnam issue des propositions de 1975 ? Est-ce que votre participation concomitante*

---

16. CHORUS OS est un système d'exploitation en temps réel pour les systèmes embarqués (Rozier *et al.*, 1988).

17. Validé par les conseils d'administration et de perfectionnement de l'établissement, le laboratoire de recherche CEDRIC se nomme d'abord Centre de recherche en informatique du Cnam, puis évolue par la suite en Centre de recherche en informatique et communications.

*aux projets de recherche de l'INRIA a pu jouer un rôle là-dedans ? Dans quelle mesure le projet du CEDRIC était-il déjà en germe ?*

C. K. : Quand le Laboratoire d'informatique est créé en 1968, il remplace le Laboratoire de calcul qui ne pouvait subvenir aux besoins en calcul de tous les départements – par exemple en gestion – et est placé sous la tutelle du département maths-info. Il a pour fonction d'être un service pour les travaux pratiques du département, proposant une assistance conception et programmation.

Un « laboratoire » au Cnam était rattaché à une chaire. Par exemple, la chaire d'électronique avait son laboratoire. Le laboratoire d'informatique a été rattaché à la chaire d'Hocquenghem, puis à celle de Raymond, chaire d'informatique-programmation en 1973. Il y a eu des conflits avec Namian, chaire de machines mathématiques, qui souhaitait le récupérer. Le Laboratoire ne réalisait pas que des travaux dédiés à la discipline informatique : les « matheux » y faisaient des mathématiques appliquées, et l'administration utilisait les ordinateurs pour faire la comptabilité et la paie. Mais à mon arrivée, il n'y avait presque rien. Gérard Florin qui en prendra la direction en 1977 y avait fait la partie pratique de sa thèse de troisième cycle : il avait conçu un protocole de raccordement entre deux machines. On ne pouvait pas soutenir de thèse au Cnam<sup>18</sup>, et donc on allait le faire à l'institut de programmation d'Arsac à Paris 6, avec qui le département avait quelques liens. Il n'y avait pas de contacts officiels avec l'INRIA, car c'étaient deux mondes différents. Par contre j'avais fait venir à l'INRIA des élèves de l'IIE pour leurs travaux de thèse ou de mémoire d'ingénieur.

À partir de 1978, on a commencé avec quelques-uns, dont Stéphane Natkin, Gérard Florin, Humberto Lucas et Bernard Martin, et en lien avec les enseignants de l'IIE, à constituer des équipes de recherche autour des systèmes. L'une se spécialisait sur les questions de sûreté et fonctionnement, avec Florin et Natkin, et avait des contrats avec la CERC<sup>19</sup>. Cette société vendait des systèmes en temps réel, par exemple pour la conduite d'un métro à Caracas. Pour obtenir le marché, il fallait faire des calculs de fiabilité qui n'étaient pas si faciles sur des objets en mouvement

---

18. Le Cnam reçoit l'habilitation à délivrer des titres de docteur de troisième cycle, ainsi que de docteur-ingénieur, à partir de 1975. Ces attributions sont délivrées pour une période variant entre un an et cinq ans. Pour le doctorat d'ingénieur, il faut avoir préalablement la qualité d'ingénieur. Pour le doctorat de troisième cycle, le Cnam doit établir une convention avec un autre établissement d'enseignement supérieur s'il n'a pas obtenu de dispense de DEA. La thèse de l'université de Paris 6 que passe Gérard Florin est également intitulée « doctorat de spécialité informatique » (correspondance avec Gérard Florin, mai 2016).

19. Compagnie d'études et de réalisation de cybernétique industrielle spécialisée dans l'ingénierie industrielle, créée en 1962 par le groupe Schneider. Elle rejoint la SEMA en 1986 – la SEMA (Société d'économie et de mathématiques appliquées) étant la plus ancienne SSII française, créée en 1958 pour la recherche opérationnelle et l'informatique appliquée à l'économie, et qui elle-même devient le Sema Group en 1988, aujourd'hui hui part de l'entreprise de services du numérique ATOS.

comme le métro. Natkin et Florin en ont fait leur travail de thèse d'état<sup>20</sup> sur les réseaux de Petri stochastiques, un gros travail avec des mathématiques et du développement d'outils d'analyse, utilisant les réseaux de Petri et les processus de Markov stochastiques comme alternative aux probabilités classiques qui ne suffisent pas pour traiter ces structures graphiques. Parmi les autres projets de la CERCi figurait la conduite d'un atelier de mécanique pour la société Peugeot, pour laquelle j'ai été conseiller pour la réalisation du système informatique. La CERCi était venue à moi en tant qu'ingénieur et enseignant-chercheur du Cnam, pas en tant que chercheur à l'INRIA – dont le côté théorique et universitaire pouvait faire peur aux industriels. Une équipe de recherche au Cnam s'intéressait à l'architecture des systèmes répartis. Une autre était en relation avec la CII Honeywell-Bull sur la machine 64 et les problèmes de gestion de mémoire, avec Bernard Martin. Au Cnam on ne pouvait pas embaucher des gens facilement, alors on avait des accords avec des sociétés comme la CERCi qui recrutaient des gens en mission pour travailler avec nous pendant quelques années puis qui les embauchait chez eux à la fin de leur mémoire ou de leur thèse. C'était une manière pour nous d'avoir des bourses : on accueillait des ingénieurs et on évaluait leur capacité à faire de la recherche ; on espérait que les recrues iraient jusqu'à la thèse, mais souvent les plus brillants intégraient directement l'entreprise avant d'avoir soutenu leur thèse.

*En 1982, vous devenez titulaire de la chaire de programmation, dans la lignée de celle de François-Henri Raymond. Quel a été le poids de cet héritage – dans la mesure où les chaires du Cnam sont consubstantielles à des individus ? À partir de là, quels étaient vos rapports scientifiques avec les informaticiens de gestion de l'IE avec qui vous alliez développer le projet d'un laboratoire de recherche dans la décennie suivante ?*<sup>21</sup>

C. K. : Bien avant mon élection sur la chaire d'informatique-programmation j'avais de très bonnes relations avec Raymond ; il me laissait toute liberté de recherche, pourvu que cette recherche soit scientifique.

Raymond était un inventeur ; il me fait penser à la figure de l'ingénieur dans Jules Verne, qui sait tout faire, crée une forge... comme dans *L'île mystérieuse*. C'est un

---

20. Doctorat d'état es sciences en mathématiques appliquées, soutenu à Paris 6 pour Florin comme pour Natkin – la thèse d'état est l'équivalent de l'habilitation à diriger des recherches (HDR) à l'époque. Le Cnam n'a jamais obtenu le droit de délivrer le doctorat d'état ou l'HDR, « resté une chasse gardée des universités » (correspondance avec Gérard Florin, mai 2016).

21. Dans un contexte plus général, concernant moins les informaticiens du Cnam que par exemple les chercheurs de l'INRIA, la question de l'informatique de gestion est sensible : le rapport de l'OCDE de 1975 dit que les bases de données sont un problème intéressant du point de vue de l'informatique générale, qu'on peut étudier dans le domaine particulier de gestion, mais qu'en aucun cas elles ne sont un problème d'informatique de gestion.

ingénieur du 19<sup>e</sup> siècle qui crée sa société, qui recrée tout à sa façon ; il a été un précurseur en informatique en France <sup>22</sup>.

On aimait bien travailler avec les enseignants et élèves de l’IIE : ils avaient un bagage mathématique et informatique suffisant pour partager avec nous des problèmes de recherche, et quelques-uns ont fait des thèses sur les réseaux de Petri stochastiques. Leurs enseignements ne se réduisaient pas à la gestion, car l’IIE n’est pas une formation de type MIAGE <sup>23</sup>, mais une école d’ingénieurs, et donc les élèves avaient des bases scientifiques plus larges. Leur appartenance au CEDRIC n’a jamais posé de problème pour nous.

L’informatique de gestion est le domaine qui attire le plus d’auditeurs au Cnam. La gestion a évolué et atteint un niveau où on peut dégager des concepts informatiques, comme on le faisait en 1968–1969 dans le domaine des systèmes. D’ailleurs on retrouve aujourd’hui une grande équipe en informatique de gestion dans le CEDRIC.

*Dans la décennie des années 1980, quelles évolutions et convergences scientifiques et administratives aboutissent finalement à la création du CEDRIC ? Mais aussi, quelles divergences ont pu apparaître ? En effet, le premier dépôt du projet de laboratoire au conseil d’administration en 1989 a été retoqué par crainte d’un contrôle sur d’autres recherches en informatique au Cnam et de problèmes d’allocation de crédits – ce n’est qu’en 1990 qu’il est validé administrativement.*

C. K. : La création de la formation doctorale en informatique dont j’ai été le premier directeur, et qu’on a pu créer à partir du moment où le Cnam a eu le droit de préparer et délivrer des thèses d’ingénieur docteur <sup>24</sup>, a été déterminante. C’est ce qui a permis de fédérer les enseignants qui voulaient faire de la recherche. Gérard Florin et moi, nous participions au DEA de Paris 6, de même que Marie-Christine Costa et Alain Billionnet, enseignants de recherche opérationnelle avec Robert Faure. J’ai même présidé le jury de deux thèses en automatisme, domaine rattaché au département EEA et où la recherche se faisait dans les locaux de l’École nationale des arts et métiers (ENSAM). L’équipe Systèmes organisait aussi des stages de formation continue à destination des industriels. On partait alors huit jours avec quelques techniciens du laboratoire, avec armes et bagages, avec du matériel pour des manipulations, en séjour résidentiel et cela nous a permis d’amorcer une culture commune.

Sur le texte du projet, c’est en s’appuyant sur la formation doctorale qu’on a proposé le CEDRIC, et non pas sous la tutelle d’une chaire ; on souhaitait que le

22. Mounier-Kuhn, 2006.

23. Méthodes informatiques appliquées à la gestion des entreprises. L’IIE offre des formations proches sur le contenu, mais délivrant un titre d’ingénieur spécifique.

24. Les formations doctorales (voir note 20) ont précédé les écoles doctorales qui ont regroupé les DEA et la gestion des doctorats nouvelle formule calquée sur le PhD américain, à partir de 1985 (Correspondance avec Gérard Florin, mai 2016).

futur laboratoire de recherche soit véritablement celui du département et de l'III<sup>e</sup> et non d'une des chaires du département. La création du CEDRIC a cependant rencontré des résistances, car quelques professeurs titulaires de chaire ne voulaient pas de cette indépendance. La condition *sine qua non* était que la création du laboratoire ne demanderait pas de crédits supplémentaires !

La suite de l'histoire du CEDRIC concerne son développement. Aujourd'hui le CEDRIC est une équipe d'accueil (EA 4629, avec environ 135 personnes) et est le principal laboratoire de recherche du Cnam<sup>25</sup>.

## Bibliographie

Beltran A. et Griset P. (2007). *Histoire d'un pionnier de l'informatique : 40 ans de recherche à l'Inria*, Les Ulis, France, EDP sciences.

Betourné C., Ferrié J., Kaiser C., Krakowiak S., et Mossière J. (2004). ÉSOPE : une étape de la recherche française en systèmes d'exploitation (1968–72). *7<sup>e</sup> colloque sur l'Histoire de l'Informatique et des Télécommunications* (Cesson-Rennes, novembre 2004), Éditions Irisa/Inria-Rennes, pp. 173–198.

Duclert V. (2001). L'invention d'une haute institution gouvernementale. La Délégation générale à la recherche scientifique et technique. In Duclert V. et Chatriot A., *Le Gouvernement de la Recherche*. Paris, La Découverte.

Hayat S. et Petitgirard L. (2014). Télé-Cnam : enjeux politiques et dispositifs techniques d'une innovation pédagogique. *Cahiers d'histoire du Cnam*, vol. 1, n° 1, pp. 127–140.

Hoffsas C. (1988). Histoire de l'AFCEC et des sociétés l'ayant constituée. *Colloque sur l'histoire de l'informatique en France*, Philippe Chatelin éd., Grenoble, pp. 269–291.

Kaiser C. (2011). Le centre de calcul de Coelacanthé (1963-1970), Service d'édition en ligne InLibroVeritas, 82 pages [<http://www.inlibroveritas.net/oeuvres/29070/centre-de-calcul-coelacanthé-1963-1970>].

Marec J.-P. (dir.) (2013). *Un demi-siècle d'aéronautique en France*. Tome 1. Centres et moyens d'essais, COMAERO, Onera/Service de l'information scientifique et technique et de la documentation.

Mounier-Kuhn P.-E. (2006). Du radar naval à l'informatique : François-Henri Raymond (1914-2000). Actes du *colloque Archives de l'invention : écrits, objets et*

---

25. <http://cedric.cnam.fr/index.php/default/page/view?id=5>

*images de l'activité inventive*, Presses Universitaires de Toulouse-Le Mirail, coll. Méridiennes, Histoire et Techniques, pp. 270–290.

Pestre D., Jacq F. (1996). Une recomposition de la recherche académique et industrielle en France dans l'après-guerre, 1945–1970. Nouvelles pratiques, formes d'organisation et conceptions politiques. *Revue Sociologie du travail*, n° 3/96, pp. 263–277.

Rozier M., Abrossimov V., Armand F., Boule I., Gien M., Guillemont M., Herrmann F., Kaiser C., Langlois S., Leonard P. et Neuhauser W. (société Chorus Systèmes) (1988). CHORUS Distributed Operating Systems. *Computing Systems: The Journal of the USENIX Association*, vol. 1, n° 4, pp. 305–370.



### Claude Berrou : un turbo dans l'algo

Entretien réalisé par Serge Abiteboul<sup>1</sup> et Christine Froidevaux<sup>2</sup>

---

*Un nouvel « Entretien autour de l'informatique » proposé par BINAIRE. Serge Abiteboul et Christine Froidevaux interviewent Claude Berrou<sup>3</sup>, un informaticien et électronicien, membre de l'Académie des sciences. Claude Berrou est Professeur à IMT Atlantique (Bretagne – Pays de la Loire). Il est notamment connu pour ses travaux sur les turbocodes, très utilisés en téléphonie mobile. Sa recherche porte aujourd'hui sur les neurosciences informationnelles.*



Claude Berrou

**Binaire :** *Tu étais électronicien au départ, comment es-tu arrivé à l'informatique ?*

**Claude Berrou :** Je suis un randonneur des sciences. Après une formation initiale à l'école qui s'appelle aujourd'hui Phelma, j'ai fait un peu de tout : électronique, traitement de signal, architecture de circuits. Puis je suis arrivé à l'informatique... par hasard, avec les codes correcteurs et la théorie de l'information.

**Binaire :** *Une question que nous adorons poser à Binaire, c'est quoi l'informatique pour toi ?*

**C. B. :** J'ai un aphorisme : l'informatique est à la science, ce que le langage naturel est à l'intelligence. Avant l'informatique, la science, c'étaient des équations, des formules et des théorèmes. L'informatique a

1. <http://abiteboul.com/>

2. <https://www.lri.fr/~chris/>

3. <http://perso.telecom-bretagne.eu/claudeberrou>

permis de mettre en place des séquences d'opérations, des processus, des procédures, pour pouvoir traiter des problèmes complexes. Du coup, c'est presque synonyme de langage et c'est très comparable au langage naturel qui oblige à structurer. De même qu'on a un langage commun, l'informatique propose des langages compréhensibles par tous.

*Binaire : Tu as travaillé sur les codes correcteurs. Tu peux nous dire à quoi ça sert ?*

C. B. : Quand on transmet de l'information, on veut récupérer le message émis parfaitement. Même si on a beaucoup d'utilisateurs, et une bande passante limitée. Si le message est binaire, à cause du bruit et des interférences qui perturbent la ligne, certains 0 émis vont devenir des 1 reçus, des 1 devenir des 0. Plus le bruit est important par rapport au signal, plus fréquentes sont de telles erreurs. Le rapport signal sur bruit peut être dégradé, par exemple, par de mauvaises conditions météo ou par des perturbations causées par d'autres communications qui s'exécutent en même temps. Avec autant d'erreurs, la qualité est déplorable. Pour éviter cela, on code l'information à l'émission en ajoutant de la redondance. Le défi, c'est d'être capable de récupérer relativement bien le message sans avoir à mettre trop de redondance, sans trop faire grossir le message. Nous avons un peu le même problème avec le stockage dans les mémoires de masse. Des bits peuvent permuter, peut-être à cause de l'usure du disque. On introduit aussi de la redondance dans ces systèmes pour pouvoir récupérer l'information.

*Binaire : Tu nous parles de ta super invention, les turbocodes.*

C. B. : Les turbocodes sont nés grâce au Titanic, lorsqu'il a fallu assurer la transmission sans câbles de vidéos pour visualiser cette épave (des travaux d'Alain Glavieux). Je me suis amusé à essayer de diminuer l'effet du bruit dans les transmissions, et j'ai pensé qu'on pourrait introduire dans le décodage, pour le traitement d'erreurs, le principe de contre-réaction, une notion classique en électronique.

Pour moi, l'interdisciplinarité est fondamentale ; l'innovation est souvent à l'interface des disciplines. Vous prenez une idée qui a prouvé qu'elle marchait quelque part dans les sciences, et vous essayez de l'adapter dans un tout autre contexte. L'idée à l'origine des turbocodes, c'est d'importer une technique d'électronique en informatique.

Quand on veut réaliser un amplificateur avec un gain élevé, on en met deux ou trois en série. Mais ça donne des trucs instables. Pour stabiliser le montage, on met en œuvre un principe de contre-réaction : renvoyer vers l'entrée de l'amplificateur une fraction de sa sortie, avec le signe  $-$ , cela atténue les variations intempestives.

Je suis parti d'un algorithme connu : l'algorithme de Viterbi. Il permet de corriger (s'il n'y a pas trop de bruit) les erreurs survenues lors d'une transmission à travers un canal bruité et peut donc être considéré comme un amplificateur de rapport signal sur bruit. Le décodeur de Viterbi connaît la loi algébrique qui a servi à construire la



Turbo – Lauri Rantala – CC-BY 2.0

redondance du message codé et l'exploite dans un treillis (l'équivalent déterministe d'une chaîne de Markov) et délivre ainsi le message d'origine le plus probable. J'ai donc mis deux algorithmes de Viterbi en série. Et j'ai ensuite essayé d'implémenter la notion de contre-réaction dans le décodage. C'est délicat et je n'étais pas un expert du codage.

Un problème, c'est que l'algorithme de Viterbi fait des choix binaires : le bit a été permuté ou pas. Nous l'avons adapté, avec un collègue, Patrick Adde, pour qu'il fournisse des décisions probabilistes, ce qui améliore nettement la performance du décodeur qui suit.

Binaire : *Comment ça fonctionne ?*

C. B. : Comme je l'ai expliqué, pour protéger un message, on ajoute de la redondance. Le turbocode réalise le codage sur deux dimensions. Une bonne analogie est une grille de mots croisés avec les dimensions verticale et horizontale. Si les définitions étaient parfaites, une seule dimension suffirait. On pourrait reconstruire la grille, par exemple, juste avec les définitions horizontales. Mais comme on ne sait pas toujours à quoi correspondent les définitions et qu'il peut y avoir des ambiguïtés (à cause du bruit, des effacements, etc.), on donne aussi les définitions verticales.

Le décodage ressemble un peu à ce que peut faire un cruciverbiste. Le décodeur travaille en ligne (il exploite les définitions horizontales), puis passe à la dimension verticale. Comme le cruciverbiste, le décodeur fait plusieurs passes pour reconstruire le message.

Avec tout ça, les turbocodes sont efficaces.

Binaire : *On te croit. Des milliards d'objets utilisent cette technologie !*

C. B. : Oui. Toutes les données médias sur la 3G et la 4G sont protégées par les turbocodes.



Claude Shannon, Wikipedia

Binaire : *Cela nous conduit à un autre Claude : Claude Shannon et la théorie de l'information ?*

C. B. : Oui avec cet algorithme, on est en plein dans la théorie de l'information. J'ai d'ailleurs contribué récemment à l'organisation du colloque de célébration du centième anniversaire de la naissance de Shannon à l'IHP, un colloque passionnant.

Shannon a montré que toute transmission (ou stockage) idéale devait normalement se faire avec deux opérations fondamentales. D'abord, pour diminuer la taille du message, on le compresse pour lui enlever le maximum de redondance inutile. Ensuite, pour se protéger contre les erreurs, on lui ajoute de la redondance intelligente.

Shannon a démontré les limites des codes correcteurs en 1948 ! Les turbocodes atteignent la limite théorique de Shannon, à quelques dixièmes de décibels près !

Binaire : *Et maintenant. Tu as glissé vers les neurosciences...*

C. B. : Ma recherche actuelle porte sur les neurosciences informationnelles. Récemment, vous avez interviewé Olivier Faugeras<sup>4</sup> qui vous a parlé des neurosciences computationnelles, une approche assez différente.

Mon point de départ, c'est encore l'information, cette fois dans le cerveau. Le cortex humain est assimilable à un graphe, avec des milliards de nœuds et des milliers de milliards d'arêtes. Il y a des modules spécifiques, et entre les modules, il y a des liens de communication. Je suis persuadé que l'information mentale, portée par le cortex, est binaire.

Les théories classiques font l'hypothèse que l'information est stockée par les poids synaptiques, des poids sur les arêtes du graphe. Je fais une autre hypothèse. Pour moi, il y a trop de bruit dans le cerveau ; c'est trop fragile, inconstant, instable ; l'information ne peut pas être portée par des poids mais par des assemblées de nœuds.

4. *Remue-méninge pour informaticien*, <http://binaire.blog.lemonde.fr/2016/11/12/remue-meninge-pour-informaticien/>

Ces nœuds forment une clique au sens géométrique du terme, c'est-à-dire qu'ils sont tous reliés deux à deux. Cela devient une information numérique.

*Binaire : C'est là que nous allons retrouver le codage et la redondance ? Pour éviter que l'information ne se perde dans le cerveau, il y a aussi des redondances ?*

C. B. : Oui. Pour l'école classique, c'est-à-dire analogique, l'information est portée par les synapses. En ce cas, la redondance ne pourrait être assurée que par des répétitions : plusieurs arêtes porteraient la même information.

Selon notre approche, l'information est codée dans les connexions d'une assemblée de nœuds. La redondance est présente de façon naturelle dans ce type de codage. Prenez une clique de 10 nœuds dans un graphe. Vous avez 45 connexions dans la clique. Le nombre de connexions est grand par rapport au nombre de nœuds. Je m'appuie sur la règle de Hebb (1949) : lorsqu'un neurone A envoie des *spikes* et qu'un neurone B s'active systématiquement, la liaison entre A et B va se renforcer si elle existe, et si elle n'existe pas elle va être créée. La clique étant redondante, cela va résonner, une liaison altérée va se renforcer : grâce à la règle de Hebb on a une reconstruction en cas de dégradation. Nous avons bâti toute une théorie autour de ça.



© Nicolas Rougier

*Binaire : Tu nous as largués. Une clique porte un morceau d'information. Et le fait qu'il y ait tant de redondance dans la clique garantit la pérennité de l'information ?*

C. B. : Oui. Et en plus, la clique peut être l'élément de base d'une mémoire associative. Je vais pouvoir retrouver l'information complète à partir de certaines valeurs du contenu. Et ça, c'est dû à la structure fortement redondante des cliques.

*Binaire : Votre travail consiste en quoi ?*

C. B. : J'ai mis en place une équipe pluridisciplinaire composée de neuropsychologues, neurolinguistes, informaticiens, etc. Nous essayons de concevoir un démonstrateur, une machine inspirée par le modèle du cerveau que nous imaginons, à l'échelle informationnelle. Dans un ordinateur classique, la mémoire est d'un côté et le processeur de l'autre. Dans notre machine, comme dans le cerveau, tout est imbriqué.

Selon la théorie que nous développons (pas encore complètement publiée), l'information mentale s'appuie sur des petits bouts de connaissance qui sont stockés dans des cliques. Les cliques sont choisies au hasard. Mais quand c'est fait, elles sont

définitives. D'un individu à un autre, ce ne sont pas les mêmes cliques qui portent la même information. J'aimerais arriver à faire émerger de l'intelligence artificielle avec ce modèle de machine.

Binaire : *Quelle est ta vision de l'intelligence artificielle ?*

C. B. : Il y a en fait deux intelligences artificielles. Il y a d'abord celle qui s'intéresse aux sens, à la vision, à la reconnaissance de la parole par exemple. On commence à savoir faire cela avec le *deep learning*. Et puis, il y a celle qui nous permet d'imaginer et de créer, de savoir répondre à des questions inédites. Ça, on ne sait pas faire pour le moment. Pour moi, la seule façon d'avancer sur cette IA forte est de s'inspirer du cortex humain.

Ce sujet me passionne. J'aimerais le voir progresser et continuer à faire longtemps de la recherche.

---

*Cet article est également paru sur le blog BINAIRE<sup>5</sup>.  
Il est publié en collaboration avec The Conversation<sup>6</sup>.*

---

5. <http://binaire.blog.lemonde.fr/>

6. <http://theconversation.com/fr>



## *Software Heritage* : pourquoi et comment construire l'archive universelle du code source

Roberto Di Cosmo<sup>1</sup>

---

Le logiciel est aujourd'hui présent partout autour de nous : il est le moteur de notre industrie, le carburant de l'innovation, l'instrument essentiel que nous utilisons pour communiquer, nous entretenir, réaliser tout type de transaction et opération, nous organiser en société et former nos opinions politiques. Il est aussi le médiateur indispensable qui nous permet d'accéder à toute l'information numérique, et le pilier de la science moderne<sup>2</sup>.

En un mot, on peut dire que le logiciel est en train de devenir la composante principale de notre patrimoine scientifique, technique et culturel.

En regardant de plus près, quand on parle de logiciel, la vraie connaissance n'est pas contenue dans les exécutables, qui sont prévus pour une exécution directe sur la machine spécifique, et peuvent, une fois optimisés, être incompréhensibles pour un être humain. Elle est contenue dans le « code source » des logiciels qui, selon la définition très bien conçue utilisée dans la licence GPL, est « la forme préférée pour un développeur pour apporter une modification au programme » [GNU91].

Oui, le code source est une forme unique de connaissance qui est à la fois faite pour être comprise par un être humain, le développeur, et pour être exécutée sur une machine. Il s'agit d'un objet numérique très spécial : il est souvent vivant, modifié régulièrement pour l'adapter à de nouveaux besoins et, si on veut vraiment comprendre son évolution, avoir accès à son historique de développement est essentiel.

Malgré des analyses relativement anciennes et très pertinentes de l'importance du code source, comme celle faite par Len Shustek dans son très bel article de

---

1. Inria et Université Paris Diderot, [www.dicosmo.org](http://www.dicosmo.org)

2. Il n'y a pas un domaine scientifique qui n'a pas besoin de logiciels [VNMN14].

2006 [Shu06], ou par Donald Knuth [Knu84], jusqu'ici peu d'attention a été portée à la préservation du patrimoine contenu dans nos codes sources.

On archive beaucoup de documents numériques : images, vidéos, musique, textes, pages web, même des binaires exécutables ; le code source, non. Pourtant, le besoin est bien là, pour de multiples raisons. Voyons-en les trois plus évidentes.

### **La diaspora logicielle**

Aujourd'hui, avec l'essor spectaculaire du logiciel libre, des millions de projets logiciels sont construits en utilisant des plateformes de développement, comme GitHub, GitLab.com, Bitbucket, l'ancien Sourceforge et bien d'autres, sans compter la myriade de forges plus ou moins institutionnelles éparpillées partout sur la planète, ou les personnes qui distribuent encore leurs sources comme des archives téléchargeables à partir de leur page web. Et pour compliquer le tout, pendant la vie d'un logiciel, les développeurs ont souvent tendance à changer de plateforme de développement, en passant de l'une à l'autre selon la mode du moment ou l'évolution des besoins et des habitudes des contributeurs.

Une fois une version particulière d'un logiciel stabilisée, se pose le problème de le distribuer. Là aussi, la situation n'est pas plus simple : certains développeurs utilisent la plateforme de développement pour la distribution (la plupart des forges permettent de faire ça). D'autres communautés ont leurs archives dédiées, comme CPAN, CTAN, CRAN, etc. Et puis il y a les différents systèmes de paquets, qui ont aussi leurs propres copies d'un code source qui a été récupéré ailleurs.

Se retrouver au milieu de ce véritable tas de spaghetti n'est pas chose facile : il nous manque cruellement un point d'entrée unique où l'on puisse retrouver et suivre l'évolution du développement du code source de tous les logiciels publiquement disponibles, et qui retrace toutes les plateformes de distribution.

### **Notre code source est fragile**

Nous savons depuis longtemps que l'information numérique est fragile : erreur humaine, pannes matérielles, incendies, piratages, peuvent facilement détruire des données précieuses, et cela s'applique tout aussi bien au code source. C'est bien pour cela que l'on se doit d'effectuer des sauvegardes régulières.

Pour qui développe du logiciel libre, en utilisant une des plateformes de développement gratuites, privées ou institutionnelles, ce problème pouvait sembler lointain : la charge de la préservation revenait aux plateformes, pas aux auteurs des logiciels.

Mais courant 2015, deux plateformes de développement de logiciel libre très connues, Gitorious et Google Code, ont annoncé pour différentes raisons qu'elles allaient fermer leurs portes. Plus d'un million et demi de projets ont dû trouver un nouvel hébergement depuis, et cela dans un temps extrêmement court pour ce qui concerne Gitorious.

Cela nous a fait comprendre que la mission de préservation ne peut pas être déléguée à des entités qui n'en font pas leur mission première. Il nous manque une *archive* qui assume cette mission, et qui nous garantisse que si le code source d'un logiciel n'est plus disponible sur une plateforme de développement, ou si la plateforme elle-même disparaît, on puisse quand même le retrouver dans l'archive.

## Un grand instrument de recherche sur le code source des logiciels

Avec l'importance grandissante du logiciel, qui pénètre toutes les strates de notre société et nos infrastructures, nous savons tous combien il est essentiel de se donner les moyens pour améliorer la qualité, la sûreté et la sécurité de nos codes sources.

Pourtant, nous manquons cruellement d'un grand instrument de recherche qui permette d'analyser l'ensemble du corpus de code source disponible, avec son historique de développement : pour cela il faut que l'ensemble de l'information soit disponible sous une forme homogène qui permette d'appliquer des techniques diverses sur l'ensemble du corpus, indépendamment de l'origine de chaque source.

### La mission de *Software Heritage*

Pour répondre à ces trois défis majeurs, a été lancé, avec le soutien initial fort et total d'Inria, *Software Heritage*, une initiative qui a pour mission très précisément de *récolter, organiser, préserver et rendre facilement accessible* l'ensemble du *code source* disponible publiquement sur la planète, indépendamment de ou et comment il a été développé ou distribué.

Le but affiché est de construire une infrastructure commune, qui permettra une multiplicité d'applications : bien sûr, préserver sur le long terme le code source contre les risques de destruction, mais aussi permettre des études à grande échelle sur le code et les processus de développement actuels, afin de les améliorer et préparer ainsi un futur meilleur.

### Une tâche complexe

Il s'agit d'une tâche bien plus complexe qu'il n'y paraît : il suffit de passer en revue les défis qu'il faut relever, ne serait-ce que pour la phase de récolte des codes sources (et il y en a bien d'autres pour les autres phases).

Nous devons recenser les endroits où le code source se trouve, qui vont des plateformes de développement très connues jusqu'à des archives déposées sur d'obscures pages web. Il n'y a pas de catalogue universel, nous devons le construire.

Nous devons appréhender les protocoles propres à chaque plateforme de développement, afin de lister leurs contenus, et maintenir à jour notre archive en suivant l'évolution dans les codes sources qui y sont hébergés. Il n'y a pas de standard, nous espérons en promouvoir un minimal dans le futur.

Nous devons lire l'historique de développement qui se retrouve dans une grande variété de systèmes de contrôle de version : git, mercurial, subversion, darcs, bazaar, cvs, ce ne sont que quelques exemples des outils que nous devons étudier afin d'importer l'historique dans notre modèle de données. Notre mission d'universalité nous oblige à les regarder tous, nous n'avons pas le luxe d'en imposer un comme peuvent le faire certaines plateformes de développement. Et il n'y a pas de standard pour les structures des systèmes de contrôle de version : nous devons construire un modèle de donnée qui puisse les capturer toutes.

Face à un tel défi, il est important que nous, informaticiens, nous saisissons de la mission : le code source est l'ADN de notre discipline, et il nous revient d'être en première ligne quand il s'agit de le préserver, l'étudier et le rendre meilleur.

## Quelques principes

Accomplir la mission de *Software Heritage* est une tâche complexe, et comporte un engagement sur le long terme. Il est donc important, pour se donner les plus grandes chances de succès, de fonder ce travail sur des bases solides. Nous avons donc identifié des principes fondateurs, qui sont les suivants.

### *Logiciel libre, et transparence*

Pour préserver de l'information à long terme il faut connaître le fonctionnement de tous les outils mis en œuvre : *Software Heritage* a donc fait le choix de n'utiliser que des composants en logiciel libre, et de publier l'ensemble de son propre code source comme logiciel libre, en toute transparence.

### *Réplication à tous les niveaux*

On l'a vu en analysant les raisons de la fragilité de l'information numérique, il y a pléthore de menaces, allant des défaillances techniques à la malveillance, à de simples décisions économiques, voire même juridiques. Nous savons qu'on ne pourra pas éviter toutes ces menaces, et qu'il y aura des erreurs et des imprévus. Donc au lieu de prétendre construire un système sans erreurs, nous préférons travailler à mettre en place un système qui tolère les erreurs. Pour cela, nous cherchons à construire une infrastructure répliquée et diversifiée à tous les niveaux : un réseau de miroirs, possiblement avec une variété de technologies différentes, sous des contrôles administratifs et dans des juridictions différentes. Le choix de diffuser comme logiciel libre tout le code source de notre infrastructure a précisément pour vocation de faciliter la création de nouveaux miroirs par des acteurs divers.

## **Sans but lucratif, et multipartenaire**

L'expérience a montré qu'une seule entité, aussi puissante soit-elle, n'apporte pas assez de garanties sur le long terme. Nous pensons que pour assurer la mission de *Software Heritage* il est indispensable de construire une fondation sans but lucratif ayant pour objectif précis la collecte, l'organisation, la préservation et la mise à disposition du patrimoine précieux qui est le code source des logiciels. Pour minimiser les risques d'avoir des points uniques de défaillance, cette fondation doit s'appuyer sur des partenaires divers, allant de la société civile à l'industrie et au gouvernement, et doit s'adresser à tous les domaines susceptibles de tirer profit de l'existence de cette infrastructure, allant de la préservation du patrimoine culturel à la recherche, à l'industrie et à l'éducation.

## **Où nous en sommes aujourd'hui**

Conçue vers la fin 2014, soutenue et mise en route par Inria courant 2015, *Software Heritage* est aujourd'hui une infrastructure qui grandit jour après jour. Même si on est encore loin d'être exhaustifs, on a déjà réuni le plus grand corpus de code source disponible sur la planète, avec plus de 55 millions d'origines archivées, pour plus de trois milliards de fichiers sources uniques, chacun équipé d'un identifiant intrinsèque basé sur un hachage cryptographique. Il ne s'agit pas simplement d'une collection de répertoires mis les uns à côté des autres, mais d'un graphe de Merkle qui partage au maximum les fichiers, les dossiers et les *commits*, seule structure à même de passer à l'échelle à une époque où le développement collaboratif, sur des plateformes comme GitHub, passe par la création de copies entières (*forks*) du projet originaire.

## **Un formidable objet d'étude**

L'archive de *Software Heritage* constitue déjà un objet unique d'étude : c'est la première fois que l'on dispose de l'ensemble du code source de millions de projets, avec tout leur historique de développement, entièrement stockés dans un graphe partagé, et avec un modèle de données uniforme, indépendamment du système de contrôle de version. On peut se poser beaucoup de questions sur la nature et les propriétés de ce graphe, sur comment y retrouver la phylogénie des projets qui ont subi la diaspora logicielle, sur les algorithmes efficaces pour effectuer des recherches de motifs à la fois dans le code et dans l'historique de développement.

Et l'infrastructure de *Software Heritage* elle-même pose des défis significatifs : quelle structure de données est la plus adaptée pour exploiter l'archive dans une optique de *big data* ou de *machine learning* ? Quelle structure distribuée serait la plus adaptée pour assurer une réplification efficace et résiliente ? S'agissant d'une archive qui ne permet pas d'effacer ou modifier, mais seulement d'ajouter du contenu, quel

est le meilleur compromis entre la consistance des données, la disponibilité et la tolérance au partitionnement dans le futur réseau de miroirs ?

Ce ne sont que quelques-unes des questions qui viennent immédiatement à l'esprit, mais il peut y en avoir bien d'autres.

## Conclusion

*Software Heritage* n'est pas encore prête à ouvrir pleinement l'accès à son contenu (il faut des ressources considérables pour cela), mais on peut espérer que la recherche scientifique française, dont nous sommes fiers, s'empare d'ores et déjà de ces questions et profite de l'occasion unique qui s'ouvre à nous actuellement, et que des développeurs passionnés contribuent à l'évolution du projet<sup>3</sup>.

## Références

- [GNU91] GNU. Gnu general public license, version 2, 1991. retrieved September 2015.
- [Knu84] Donald E. Knuth. Literate programming. *Comput. J.*, 27(2) :97–111, 1984.
- [Shu06] Leonard J. Shustek. What should we collect to preserve the history of software ? *IEEE Annals of the History of Computing*, 28(4) :110–112, 2006.
- [VNMN14] Richard Van Noorden, Brendan Maher, and Regina Nuzzo. The top 100 papers. *Nature*, pages 550–553, October4 2014.

---

3. Pour s'informer sur l'état du projet, on peut explorer les sites web [www.softwareheritage.org](http://www.softwareheritage.org), [annex.softwareheritage.org](http://annex.softwareheritage.org) et [wiki.softwareheritage.org](http://wiki.softwareheritage.org), s'inscrire sur la liste de diffusion <https://sympa.inria.fr/sympa/info/swh-science> et contribuer au développement sur [forge.softwareheritage.org](http://forge.softwareheritage.org).



## Le Cnam : un lieu d'accueil, de débat et d'institutionnalisation pour les sciences et techniques de l'informatique

Cédric Neumann, Loïc Petitgirard et Camille Paloque-Berges<sup>1</sup>

Dans l'histoire et l'institutionnalisation des sciences et techniques de l'informatique en France, le Conservatoire national des arts et métiers (Cnam) a joué un rôle multiple : acteur et témoin privilégié, lieu de formation, d'émergence disciplinaire, de différenciation et de convergence, relais et réceptacle de demandes industrielles. Ce rôle, et son évolution, sont en grande partie liés à la singularité d'un établissement public de sciences et techniques qui n'est ni une université ni une école, et dont l'identité a été marquée durant sa genèse par la mission de stimuler l'industrie, ses métiers et ses innovations<sup>2</sup>.

Comment l'informatique, domaine hétérogène, est-elle devenue discipline d'enseignement et de recherche ? Cette question, nous l'abordons par le biais d'une histoire des institutions de sciences et de techniques, en nous penchant sur le « projet » scientifique de l'établissement. Nous entendons par « projet » des « ensembles constitués d'orientations idéologiques, d'idées, de discours et aussi de dispositifs juridiques ou matériels, de pratiques ou d'habitude » comme le propose Michel Grossetti (2014) pour définir deux types d'institutions scientifiques académiques (l'un

---

1. HT2S, Conservatoire national des arts et métiers, 2 rue Conté 75003 Paris. Article co-publié avec la revue *Technique et science informatiques* (TSI).

2. Le *Dictionnaire biographique des professeurs du Cnam* donne un panorama des spécificités de l'établissement. Le prochain volume (pour la période 1945–1975) introduira, par ailleurs, pour la première fois trois fiches biographiques de professeurs liés à l'informatique, dans les Trente glorieuses : Alexis Hocquenghem (chaire de mathématiques générales en vue des applications, 1951), Paul Namian (chaire de machines mathématiques, 1966), et François-Henri Raymond (chaire d'informatique-programmation, 1973).

tourné vers l'industrie, le second vers la « science pour la science », 2014). Le Cnam répondant à la première définition, il est un lieu d'observation idéal pour interroger la fabrication de cette discipline en pratique, et la penser à travers les conditions de son inscription et de son institutionnalisation dans les structures d'un grand établissement.

Nous présentons les grandes étapes et les enjeux associés à cette évolution, depuis l'entrée de l'informatique dans l'établissement par le biais des formations organisées avec les constructeurs de matériels mécanographiques dès les années 1950, jusqu'à sa structuration en domaines et lieux différenciés au sein de l'établissement : départements, chaires, services auxiliaires, et pour finir la création d'un laboratoire dédié, le CEDRIC, né en 1988 et toujours en activité. Nous éclairons cette période d'institutionnalisation à travers trois trajectoires : scientifique (des mathématiques appliquées à la programmation), matérielle (l'électronique et la technologie des ordinateurs), organisationnelle (comptabilité, informatique de gestion, sciences de l'organisation). Nous montrons ensuite les alliances, négociations et reconfigurations entre les acteurs et entre ces trajectoires : l'informatique, sujet d'enseignement, devient moyen et sujet d'expérimentations, préliminaire à la structuration moderne de la discipline au Cnam. Au fil des années 1970–1980, la formalisation administrative des aspects formation, recherche et logistique liés au domaine informatique témoigne d'une institutionnalisation qui fait écho à la structuration du champ des sciences et des techniques plus largement. Ce texte constitue ainsi une synthèse à partir des travaux précédents des trois auteurs, et un état des lieux des connaissances liées à l'histoire de l'informatique au Cnam.

Nos recherches s'appuient sur les archives que l'établissement conserve sur son site. Leur contenu, qui peut sembler hétérogène, est très riche : procès-verbaux, dossiers personnels, fonds spécifiques, fonds historiques, sans compter les manuels de cours du Cnam, très nombreux et conservés à la bibliothèque. Les procès-verbaux du conseil de perfectionnement, réunis en volumes brochés par années, sont tout particulièrement importants<sup>3</sup> pour appréhender de manière fine le fonctionnement de l'établissement, les opérations de construction des diplômes et des programmes d'enseignement, les recrutements d'enseignants-chercheurs. Nous avons consulté plusieurs dossiers personnels (dans la limite de leur communicabilité) conservant les échanges avec la direction et des éléments liés aux pratiques pédagogiques et de recherche<sup>4</sup>. Certains instituts spécialisés ont conservé leurs archives, que nous

---

3. En effet, les séances du conseil de perfectionnement réunissent la direction du Cnam et les professeurs sur les questions relatives aux recrutements de nouveaux enseignants, aux contenus des enseignements et à leurs sanctions, ainsi que les débats plus généraux concernant la réforme des cursus du Cnam. L'analyse de cette source permet de saisir les savoirs impliqués dans la création des diplômes et les conflits que ceux-ci ont soulevés.

4. Nous avons consulté en particulier ceux de Paul Namian, Claude Morillon, Bruno Lussato, François-Henri Raymond. Les contenus des dossiers, plus ou moins complets, sont souvent hétérogènes.

avons pu consulter (en particulier l'Institut national des techniques économiques et comptables (INTEC), l'Institut d'études des sciences du travail et de l'organisation (IESTO) et l'Institut d'informatique d'entreprise (IIE)). Enfin, les archives administratives du Laboratoire d'informatique, centre de calcul associé au département mathématiques-informatique, complétées par le « Fonds Lippman », issu d'un don de Daniel Lippman, ingénieur au Laboratoire d'informatique dans les années 1970–1990, sont particulièrement importantes au regard de la naissance du Laboratoire d'informatique du Cnam.

## 1. Les racines de l'informatique au Cnam

Les racines de l'informatique au Cnam se trouvent aussi bien du côté des mathématiques appliquées que de la comptabilité et de l'électronique. Ces trois domaines accueillent l'informatique dans la mesure où elle répond aux besoins rencontrés dans l'établissement : elle enrichit l'approche « appliquée » caractéristique des formations du Cnam en lien avec les demandes industrielles (constructeurs de matériel, SSII). Mécanographie, calcul numérique et automatique sont des techniques enseignées, accompagnant la structuration des formations autour des chaires. La création de l'IIE et du département mathématiques-informatique en 1967–1968 marque la fin de cette période pionnière au Cnam.

### 1.1. La trajectoire des mathématiques appliquées

#### *De l'enseignement en calcul numérique au brevet de programmation*

Les moyens et méthodes de calcul ont acquis au fil des années 1930–1950 une importance croissante autant dans les laboratoires de recherche que comme sujet d'enseignement. Dans une France mal dotée en moyens de calcul modernes, du fait d'une industrie et d'une recherche en berne dans les années 1930, le professeur André Saint-Lagüe, au Cnam, s'est fait le porte-parole d'un enseignement renforcé du calcul numérique. Sous sa houlette, les enseignements de mathématiques ont un succès considérable, accueillant jusqu'à 3000 auditeurs en 1950. Au décès de Saint-Lagüe et du fait de l'afflux d'élèves, le doublement de la chaire de mathématiques est acté, premier signe d'une institutionnalisation du calcul numérique : en 1951, Maurice Parodi obtient la chaire de « mathématiques appliquées à l'art de l'ingénieur » et Alexis Hocquenghem celle de « mathématiques générales en vue des applications », qui pendant les trois décennies suivantes jouera un rôle moteur dans la construction de la future discipline informatique au Cnam. À la même époque, seules quelques facultés, celles de Grenoble et Toulouse en tête, prodiguent des enseignements de mathématiques appliquées.

Titre d'établissement distinct des diplômes d'études supérieures techniques (DEST), le brevet de programmeur sur calculatrices électroniques est le premier diplôme proposé en 1957, à destination des professionnels. Il est mis en place

par Hocquenghem à partir de cours du soir de programmation et soutenu par les constructeurs Bull, IBM et la SEA<sup>5</sup> au sein de laquelle Hocquenghem travaille sur contrat (Mounier-Kuhn, 2010, pp. 349–351). Si ces derniers assurent les cours de travaux pratiques pour initier les auditeurs à différents types de matériels, ce sont les cours théoriques qui font la différence d’avec les formations constructeurs (calcul numérique, gestion scientifique des affaires, structure logique des ordinateurs et programmation). Entre 1957 et 1962, une centaine de programmeurs est formée.

### *L’équipement en calculateurs électroniques au Cnam*

En 1956, le Cnam achète son premier ordinateur électronique, une machine analogique Djinn construite aux laboratoires Derveaux par Jean Girerd (futur professeur du Cnam). Comme pour l’ensemble Bull l’année suivante, cette acquisition entre dans le développement de cours pratiques au cœur des enseignements de mathématiques pour répondre aux attentes du monde industriel maintenant équipé en calcul mécanique et en grands calculateurs électroniques. Un ensemble mécanographique et un ordinateur Bull Gamma 3 à programmes par cartes scellent l’accord entre Bull, qui fournit du matériel à tarif très avantageux, et le Cnam, qui en retour forme des utilisateurs spécialistes de ces machines. L’ensemble est confié à la chaire de mathématiques d’Hocquenghem : c’est le Bureau de calcul numérique. Ce centre de calcul est d’abord destiné à l’enseignement, mais sert aussi des fonctions administratives (la comptabilité de l’établissement et la paie du personnel). Il faut attendre 1962 pour qu’un ordinateur soit opérationnel au Cnam, avec le tambour magnétique installé sur le Gamma. On peut s’étonner de cet attentisme dans un établissement qui bénéficie d’excellents spécialistes en mathématiques appliquées, en électronique et automatique. En 1962–1963, un autre ordinateur est installé au laboratoire de calcul du Cnam, une CAB 500 SEA (dont un second exemplaire sera mis en place à l’Institut aérotechnique de Saint-Cyr pour analyser les mesures de la soufflerie supersonique). L’Institut national d’orientation professionnelle du Cnam acquiert pour son propre compte un petit équipement Bull en 1963.

### *Vers un DEST de calcul automatique ?*

Le brevet de programmeur constitue une étape décisive dans l’intégration d’un enseignement de l’informatique dans les cursus du Cnam. En effet, en juin 1962, Hocquenghem s’appuie sur le succès de celui-ci pour demander la création d’un DEST, provisoirement qualifié de « mathématiques appliquées ». Pour justifier sa demande,

---

5. La Société d’électronique et d’automatisme, fondée par François-Henri Raymond en 1948, est historiquement le premier constructeur d’ordinateurs établi en France. Raymond rejoindra le Cnam à la fin des années 1960 et plusieurs des acteurs cruciaux de l’informatique au Cnam – dont Hocquenghem et Namian –, passeront à la SEA.

il avance que le brevet de programmeur serait trop spécialisé pour correspondre aux demandes des entreprises qui s'établiraient au niveau de l'analyse<sup>6</sup>.

Or un DEST n'est pas seulement un diplôme, il relève de la constitution d'une filière de formation à l'intérieur de l'établissement puisque dans les faits, les DEST sont la voie d'accès au titre d'ingénieur Cnam. En 1964 est créé le DEST de « calcul automatique », dont la composition est débattue. Le cours principal sera dédié aux « machines mathématiques », axé sur l'enseignement de la technologie des ordinateurs et assuré par Paul Namian, chargé de cours dès le 1<sup>er</sup> janvier 1963 et nommé sur une chaire dans cette spécialité en 1966<sup>7</sup>. Le DEST donne lieu à deux options – calculs scientifiques et calculs de gestion – qui partagent les cours principaux (machines mathématiques et mathématiques générales) et se différencient en fonction des cours connexes<sup>8</sup>. Si le DEST sert de levier pour structurer l'enseignement lié à la chaire de mathématiques appliquées, la création de l'IIE en fera de même pour la comptabilité, qui peut se prévaloir d'être une seconde racine de l'informatique au Cnam.

### ***La trajectoire de la comptabilité***

La question des calculateurs, puis de l'informatique, se pose très tôt, mais en des termes différents, dans le domaine de la comptabilité au Cnam. Dès 1947, sur demande du CNOF<sup>9</sup> est créé un Centre d'études mécanographiques<sup>10</sup> au sein de l'INTEC (Institut national des techniques économiques et comptables, dirigé par André Brunet). Le Centre est actif entre 1948 et 1973, période durant laquelle il organise chaque année<sup>11</sup> des cycles d'information de deux semaines constitués de conférences effectuées par des utilisateurs expérimentés à destination d'autres utilisateurs. Comparé aux autres institutions apparues à la fin des années 1940 et ayant pour objectif le développement d'une utilisation rationnelle des machines mécanographiques, le Centre s'attache davantage aux applications comptables de la mécanographie, c'est-à-dire à la contribution de celle-ci à la constitution d'une information économique standardisée et quantitative, plutôt qu'aux rendements et organisations des ateliers. Cette spécificité s'explique par les caractéristiques professionnelles

---

6. A. Hocquenghem, *Rapport sur un DEST de mathématiques appliquées*, 1962, p. 4, in Annexes du Conseil de perfectionnement du 2/07/1962. Voir aussi Mounier-Kuhn, 1994.

7. « Chaire de mathématiques. Programme », Conseil de perfectionnement, 3 mai 1966, p. 10. Conseil de perfectionnement, 4 février 1963, p. 3. Ancien ingénieur de la SEA, Namian possède une expérience conséquente dans l'enseignement. Il a donné des cours de « technologie sommaire » des calculateurs dans le cadre du brevet de programmeur et depuis 1959, il est maître-assistant à la faculté des sciences de Grenoble et dirige la filière ingénieur de l'Institut de mathématiques appliquées de Grenoble (IMAG).

8. « DEST machines mathématiques. Projet de création », Conseil de perfectionnement, 2 décembre 1963, p. 9.

9. Comité national de l'organisation française.

10. Il devient le Centre d'études mécanographiques et de traitement de l'information en 1965.

11. Excepté en 1968 et 1969.

d'André Brunet : inspecteur des finances, chargé du cours de technique financière et comptable des entreprises du Cnam, il joue un rôle de premier plan dans l'organisation de la profession d'expert-comptable et dans l'élaboration des plans comptables de 1947 et 1957. Membre de la « nébuleuse calculatrice »<sup>12</sup>, il voit dans le développement d'une information économique standardisée et chiffrée un outil majeur de rationalisation et de gouvernement des entreprises.

Brunet intègre les calculateurs dans les sujets traités par le Centre dès 1957, lors du cycle consacré à « la mécanographie au seuil de l'automatisation »<sup>13</sup>. À partir des années 1960, les utilisations managériales des ordinateurs deviennent le sujet essentiel des cycles de formation. Le Centre entretient une continuité dans l'utilisation des machines classiques et des ordinateurs concernant la gestion. Initialement conçu pour l'examen des problèmes posés par les matériels classiques, il parvient à reconvertir ses activités lorsque ces derniers sont concurrencés par les ordinateurs. Un ouvrage de promotion du Cnam, souhaitant démontrer l'adaptation constante du Conservatoire aux techniques les plus modernes, le présente ainsi rétrospectivement comme « le premier centre français de résonance des problèmes soulevés par ce qui allait devenir l'informatique » (Boutry et al., 1970, p. 171).

#### *Les débats sur la création du DEST*

La complexité des discussions qui donnent naissance au DEST de Calcul Automatique tient au fait que celui-ci modifie les frontières entre les enseignements techniques, les seuls à pouvoir déboucher sur le titre d'ingénieur Cnam, et ceux de mathématiques et d'économie-gestion. Pour Hocquenghem, la création du DEST « consacre [...] une promotion au Cnam de l'enseignement des mathématiques » comme discipline centrale et non plus auxiliaire<sup>14</sup>. Inversement, pour le directeur du Cnam, Louis Ragey, le nouveau DEST ne possède pas une dimension technique suffisamment marquée pour pouvoir permettre à ses titulaires de postuler ensuite au titre d'ingénieur Cnam. Cette divergence explique la durée des débats autour du DEST bien que la position de Ragey ne soit pas soutenue par l'ensemble des enseignants des disciplines techniques<sup>15</sup>. Dans le même temps, Brunet craint que le nouveau DEST dépossède les techniques financières et comptables des parties de leur enseignement liées aux ordinateurs, en particulier l'analyse.

12. Nous reprenons l'expression de « nébuleuse calculatrice » à B. Touchelay (2011).

13. Le cycle comprend une intervention d'A. Kaufman portant sur « les calculateurs électroniques et la recherche opérationnelle ». Plus généralement le cycle est consacré aux applications de l'électronique dans la mécanographie.

14. A. Hocquenghem, *Rapport sur un DEST de mathématiques appliquées*, 1962, p. 4, in Annexes du Conseil de perfectionnement du 2/07/1962.

15. Les positions de L. Ragey concernant les débouchés du nouveau DEST sont notamment exprimées lors des conseils de perfectionnement du 2 juillet 1962 et du 2 décembre 1963.

## L'IIE

La création de l'IIE en 1967, sur une proposition initiale de Namian, consolide l'institutionnalisation de l'informatique au sein du Cnam et clôt les débats précédents. L'IIE est destiné à combler une « grave lacune » sur le marché du travail, celle des « informaticiens du secteur tertiaire » : les informaticiens de gestion<sup>16</sup>. Bien que les étudiants de l'Institut soient formés aux mathématiques, à l'informatique et à la gestion, le projet définitif de création prévoit de demander la reconnaissance du titre d'ingénieur-informaticien à la commission nationale des titres, sans que cela ne soulève d'oppositions de principe contrairement aux débats précédents sur le DEST de calcul automatique<sup>17</sup>. Ainsi l'IIE délivre une formation durant trois ans basée sur quatre groupements de cours d'une durée sensiblement égale : les mathématiques, les enseignements économiques, l'informatique générale et l'informatique appliquée à l'entreprise<sup>18</sup>. Lorsque l'IIE commence à fonctionner à partir de 1968, les travaux pratiques permettront de constituer des passerelles effectives entre les différents enseignements. Les étudiants doivent mettre au point des projets de recherche et de développement dans trois domaines de la gestion : les banques de données et fichiers, les systèmes d'exploitation et l'algorithmique non numérique. L'aspect pratique de la formation s'accroît au fur et à mesure que l'élève progresse dans le cursus de l'IIE, qui se termine par une année où les étudiants consacrent plus de temps à des travaux de recherche<sup>19</sup>. Désormais, une formation reposant sur la gestion, les mathématiques appliquées et l'informatique est associée à la délivrance d'un titre d'ingénieur.

### 1.3. La trajectoire de l'électronique et la « technologie » des ordinateurs

Dans un établissement centré sur les technologies, l'informatique trouve une troisième racine dans les domaines de l'automatisme et de l'électronique, c'est-à-dire la facette la plus technique de la conception des calculateurs et ordinateurs (*hardware*). Cette trajectoire remonte à 1947, lorsque les premières conférences sur l'automatique sont organisées au Cnam sous la houlette d'Albert Métral (titulaire de la chaire de mécanique) et de son chef des travaux et premier adjoint François-Henri Raymond. En juin 1956, l'automatique prend plus d'ampleur avec l'organisation du Congrès international de l'automatique au Cnam, où les technologies des ordinateurs et leurs usages occupent une place significative, même si la question principale demeure celle des technologies et applications de l'automation industrielle. Parallèlement, Raymond a développé l'activité de son entreprise, la SEA, qui fait de lui un pionnier industriel des ordinateurs en France. Il est tout à la fois inventeur, initiateur,

---

16. Institut d'informatique, projet de création, in Conseil de perfectionnement du 8 novembre 1966, p. 14.

17. Rapport présenté par Brunet et Namian sur la création d'un Institut d'informatique d'entreprise, in Conseil de perfectionnement du 13 juin 1967, p. 7.

18. *Ibid.*, p. 9.

19. C. Marson, L'Institut d'informatique d'entreprise au Cnam, *01 Informatique*, Octobre 1972, p. 41.

porteur, organisateur, entrepreneur : dans la foulée du congrès de 1956, il participe à la fondation de l'AFRA (Association française de régulation et d'automatique) ; il participe en 1955 à la création de AICA (Association internationale pour le calcul analogique) et de sa revue, pour promouvoir le développement des technologies du calcul analogique. Cependant, au Cnam, Raymond reste un acteur intermittent, jusqu'à la création de la chaire « informatique-programmation » qui lui est attribuée en 1973. Il privilégiera les cours portés sur la théorie informatique.

Ce sont les besoins du principal constructeur français de l'époque, Bull-GE, sollicitant le Cnam en 1964 pour y mettre sur pied des formations pour ses techniciens, qui amèneront à développer, en partenariat avec plusieurs acteurs, un enseignement spécifique en électronique pour les calculateurs et ordinateurs. Au-delà du maintien de l'expertise de ses personnels, Bull souhaite leur offrir des perspectives d'évolution de carrière. Les cours seront proposés dans d'autres DEST, notamment en électronique et en physique, signe de la transversalité du sujet. En outre, le cycle sera finalement ouvert au-delà des techniciens de Bull-GE car de nombreux autres acteurs sont intéressés : le CEA, la CAE, IBM France, l'ONERA, Philips, SETI.

Le partenariat débute par des cycles de conférences en « électronique des impulsions » (l'électronique numérique au cœur des ordinateurs), dès 1964 et jusqu'à la fin des années 1970. Si le département mathématiques-informatique est consulté, c'est initialement au sein des chaires et départements d'électronique (G.A. Boutry, Y. Angel puis M.Y. Bernard) que les cours se déroulent, selon une ligne directrice fixée par les deux principaux organisateurs et intervenants chargés de cours : Jean-Paul Vabre (ingénieur de la division Études de Bull-GE) et Georges Metzger (chef du service de Formation technique chez Bull-GE)<sup>20</sup>. Selon un modèle d'organisation propre à l'établissement, la formation ne sera pas intégrée dans une chaire spécifique et dédiée ; cet ensemble de formation restera dans le catalogue de cours jusque dans les années 1980.

## **2. Au tournant des années 1970 : structuration de la discipline et nouvelles problématiques**

### ***2.1. Le département mathématiques-informatique***

À la fin des années 1960, la structuration de l'informatique arrive à un premier terme au Cnam, selon une configuration assez semblable aux pôles universitaires pionniers. En 1968, l'établissement se dote de matériels à jour : une salle est aménagée entièrement pour accueillir l'IBM 360/30, le Centre de calcul numérique, devenu Laboratoire de calcul, qui prend de l'ampleur tout en restant dans le giron du département mathématiques-informatique.

---

<sup>20</sup>. Vabre et Metzger éditeront plusieurs fois leurs manuels de référence : *Électronique des impulsions, Mémoires électroniques, Circuits logiques, Technologie des ordinateurs...*

Petit département, il grossit rapidement, en raison du développement très rapide de l'informatique : passant de deux à cinq chaires, avec entre douze et quinze enseignements selon les périodes, il présente une offre diversifiée. Il est divisé en trois spécialités : mathématiques pures et appliquées, mathématiques des cours d'économie, et informatique. Cette dernière filière comporte trois matières principales : « Formulation mathématique du comportement des systèmes physiques en vue du traitement sur ordinateur » (Jean Girerd<sup>21</sup>), « Recherche opérationnelle » (Robert Faure), « Machines mathématiques » (Paul Namian). Une quatrième matière s'y adjoint en 1973, avec la nomination de François-Henri Raymond à la chaire d'« informatique-programmation » (informatique théorique, méthodes de programmation) créée pour lui par Hocquenghem alors qu'il quitte le monde industriel<sup>22</sup>. Les cours en rapport à l'informatique sont toujours plus nombreux et assurés dans de multiples départements : en automatique, électronique<sup>23</sup>, en gestion, comptabilité.

## 2.2. L'informatique et les sciences de l'organisation

L'intérêt pour l'informatique se manifeste bientôt parmi les enseignants d'Organisation scientifique du travail (OST), qui à la différence de Brunet ne s'étaient pas intéressés à la mécanographie puis aux premiers calculateurs dans les années 1950. En 1965, l'Institut d'études des sciences du travail et de l'organisation (IESTO), créé en 1955 par Danty-Lafrance et destiné au perfectionnement de cadres déjà en activité, recentre ses activités autour de la formation d'organisateur-informaticien. Les nouveaux programmes de 1965–1966 sont divisés en deux cycles : le premier intitulé « organisateurs informaticiens » pour « les cadres d'entreprise, appelés à participer aux études d'organisation avancées comportant un traitement de l'information, avec ou sans utilisation prochaine de machines à calculer électroniques » ; le second « informatique générale » « destiné aux cadres d'entreprises, futurs responsables du développement de système d'information de leurs sociétés »<sup>24</sup>. Entre 1965 et 1975, selon Jean Gerbier, directeur des études de l'IESTO à partir de 1970 à la suite de

---

21. Ce cours est créé en 1965 et destiné « aux physiciens et aux ingénieurs qui ne sont pas en contact direct avec les machines mais qui ont besoin d'en comprendre et d'en connaître suffisamment le fonctionnement ». « Audition de M. Jean Girerd, candidat au cours de formulation des systèmes physiques pour les machines mathématiques », in Conseil de perfectionnement du 1er juin 1965, p. 4. Voir aussi pour la création du cours le compte rendu du conseil de perfectionnement du 28 septembre 1965.

22. F.-H. Raymond sort en effet d'une période difficile liée à la place de son entreprise, la SEA, dans le contexte de la fin du Plan Calcul et de la réorganisation industrielle par l'État.

23. C'est toujours Boutry, « patron » de l'électronique au Cnam, qui sollicite l'intégration de l'enseignement de la programmation au cursus des électroniciens. « Enseignement d'informatique 1970–1971 », in Conseil de perfectionnement du 13 mai 1970, pp. 7–9.

24. IESTO, Nouveaux programmes, Année scolaire 1965–1966, p. 1, in *Archives historiques du Cnam*, Série des Instituts, 3 EE IESTO vrac non coté.

J. Lobstein, l'IESTO aurait formé 1000 organisateurs-informaticiens<sup>25</sup>. Sa reconversion brutale<sup>26</sup> s'explique par la place grandissante de l'informatique dans les tâches de direction et par la nécessité pour l'Institut de moderniser sa formation dont la qualité et la pertinence sont mises en doute. Si la conversion à l'informatique ne résout pas à court terme les difficultés de l'Institut, J. Lobstein se plaint à plusieurs reprises de la marginalité de celui-ci au sein du Cnam et de son manque de reconnaissance<sup>27</sup>, mais le soutient alors qu'on évoque sa fermeture en 1967<sup>28</sup>. Enfin, l'enseignement de l'informatique s'inscrit dans le cadre de la chaire d'« organisation scientifique du travail ». D'abord, en 1966, avec la mise en place d'un cycle facultatif de conférences d'information sur les applications récentes de l'organisation du travail assuré par Lussato qui porte en réalité « sur les services que peut rendre le traitement de l'information »<sup>29</sup>. Puis, plus durablement lors du départ à la retraite de Raymond Boisdé qui donne lieu au dédoublement de sa chaire à la fin de l'année 1969. Les sept candidats retenus présentent tous une expérience dans l'informatique ; la deuxième chaire, consacrée à l'étude des systèmes, est attribuée à B. Lussato.

À la fin des années 1960, l'informatique au Cnam concerne donc à la fois les futurs techniciens professionnels de l'informatique et les utilisateurs. Cette double vocation s'inscrit dans le Laboratoire d'informatique créé en 1965 à partir du Laboratoire de calcul existant, et dont les machines sont utilisées à la fois pour les tâches administratives de l'établissement et pour les activités d'enseignement des différentes disciplines recourant aux ordinateurs. Son comité de gestion, qualifié de « comité d'utilisateurs », remplit des missions d'étude et est composé d'Hocquenghem, Brunet, Namian, Fourastié, Girerd et Serruys<sup>30</sup>.

### ***2.3. Des problèmes d'encadrement difficilement résolus***

La coordination des enseignements d'informatique et l'évolution de la place des différentes spécialités posent des problèmes particuliers au sein du Cnam en raison

25. J. Gerbier, Rapport moral, 23 janvier 1975, pp. 4–5, in *Archives historiques du Cnam*, Série des Instituts, 3 EE IESTO vrac non côté.

26. « C'est à peine si l'IESTO se ressemble à lui-même » comme le note une brochure de présentation de l'Institut, Anonyme, « Projet de publication d'une présentation de l'IESTO dans *Techniques et économie industrielles* », p. 2, in *Archives historiques du Cnam*, Série des Instituts, 3 EE IESTO vrac non côté.

27. Par exemple les lettres conservées de Lobstein à Guérin directeur du Cnam et de l'IESTO. Celle du 14 juin 1966 et celle du 7 novembre 1967, in *Archives historiques du Cnam*, Série des Instituts, 3 EE IESTO vrac non côté.

28. IESTO, « Étude », juin 1980, non paginé, in *Archives historiques du Cnam*, Série des Instituts, 3 EE IESTO vrac non côté.

29. Conférences d'information sur les applications récentes de l'OST aux travaux administratifs, projet de cycle facultatif, in Conseil de perfectionnement du 4 Octobre 1966, p. 6.

30. Laboratoire de calcul modification de la dénomination, in Conseil de perfectionnement du 15 mars 1966, pp. 2–3.

de l'importance des effectifs étudiants et de leur croissance. Entre 1966 et 1969, le nombre des inscriptions pour l'ensemble des enseignements rattachés à la chaire d'informatique générale passe de 800 à près de 6500<sup>31</sup>. En 1972, 254 candidats se présentent au cours d'éléments de programmation destiné aux élèves non informaticiens<sup>32</sup>. L'accroissement du nombre d'élèves s'accompagne d'un sous-encadrement pédagogique particulièrement net dans les enseignements d'informatique de gestion<sup>33</sup>. Pour l'année 1975, Guérin, directeur du Cnam, avance que sur les 420 diplômes d'ingénieur délivrés par le Cnam, 100 ont été attribués en informatique de gestion alors que Namian est seul pour encadrer leurs mémoires<sup>34</sup>.

Le sous-encadrement pédagogique n'est pas une spécificité du Cnam. Des situations identiques existent dans les IUT et à l'Institut de programmation de Paris. Cependant, au Cnam, le traitement du problème est compliqué par la dégradation des relations entre Namian et le reste du département mathématiques-informatique. Dès le début des années 1970, il critique le rattachement de sa chaire au département mathématiques-informatique et entre en conflit avec Hocquenghem à propos de la gestion des matériels du Laboratoire d'informatique<sup>35</sup>. En 1973, la nouvelle chaire d'informatique théorique attribuée à Raymond permet de régler la question de la coordination des différents enseignements, dont Namian s'est déchargé en 1972 ; mais elle est aussi une preuve du conflit dans la mesure où Namian assimile sa création à un désaveu de ses activités par Hocquenghem<sup>36</sup>. Dans la seconde moitié des années 1970, lors de la nomination de Lascaux à la chaire de mathématiques appliquées à l'art de l'ingénieur, les membres de la commission de recrutement décrivent un « département mathématiques-informatique toujours sur le point d'éclater en deux morceaux tant les problèmes des uns paraissent étrangers aux autres »<sup>37</sup>.

---

31. Enseignement d'informatique 1970–1971, in Conseil de perfectionnement du 13 mai 1970, p. 7.

32. Éléments de programmation, modification de la valeur, in Conseil de perfectionnement du 16 mai 1972, p. 15.

33. Dès 1969, un enseignant de l'IIE menace de quitter celui-ci si un assistant à temps plein n'est pas nommé car « [les élèves de 1<sup>re</sup> année] ne se sont pas sentis encadrés d'une façon suffisamment ferme et suivie, leur travail s'en est ressenti et leur état d'esprit est allé en se dégradant ». Lettre de Chenon à Namian, 23 mai 1969, p. 1, in *Archives historiques du Cnam*, Série des Instituts, 3 EE, IIE, correspondances diverses non classées.

34. « Informatique de gestion, création d'un poste de professeur associé », in Conseil de perfectionnement du 12 octobre 1976, p. 9.

35. Lettre de Namian au Directeur du Cnam, 20 décembre 1971, p. 2, in *Archives historiques du Cnam*, dossier personnel de P. Namian (511).

36. Problèmes posés par l'enseignement de l'informatique au Conservatoire, in Conseil de perfectionnement du 5 décembre 1972, pp. 17–20. Lorsque F.-H. Raymond présente son programme de cours, Namian le critique en le considérant trop imprécis, mathématique et difficile. Cf. Conseil de perfectionnement du 9 octobre 1973, p. 9.

37. « Mathématiques appliquées à l'art de l'ingénieur », in Conseil de perfectionnement du 8 juillet 1977, p. 5.

Sur ce conflit se greffent des divergences quant à l'évolution de l'enseignement de l'informatique. Pour F.-H. Raymond l'enseignement de la « gestion automatisée » doit être pris en charge par d'autres départements que celui de mathématiques-informatique qui ne doit s'intéresser qu'aux problèmes informatiques posés par les applications de gestion<sup>38</sup>. La création d'un nouveau poste de professeur en informatique de gestion est empêchée jusqu'à l'élection de Pierre Mathelot en 1984. Plus généralement, l'informatique de gestion perd sa dimension stratégique au Cnam tout en apparaissant comme un simple domaine d'application de l'informatique générale.

### 3. L'informatique : moyen et sujet d'expérimentation au Cnam

#### 3.1. Un lieu d'expérimentations pédagogiques

##### *L'expérience Télé-Cnam*

Le Cnam participe dans les années 1960 à une innovation pédagogique pionnière : la transmission télévisée en direct de cours de l'enseignement supérieur, Télé-Cnam (Hayat et Petitgirard, 2014). L'expérimentation commence en novembre 1963, sous une forme restreinte : les cours sont filmés en amphithéâtre, et retransmis à des centres de réception en région parisienne. Dès 1965, en accord direct avec le Cnam, Bull-GE organisera sa propre cellule de réception, pour former son personnel (et accueillir quelques extérieurs) sur des cours de mathématiques générales, physique et radioélectricité. Le département mathématiques-informatique et le département d'électronique sont depuis le début de l'aventure les principaux participants.

La deuxième phase de cette expérience débute en novembre 1966, avec la retransmission en direct sur la deuxième chaîne de télévision de l'ORTF, ouvrant une audience considérable à ces cours. En 1968, Paul Namian y inaugure son cours d'informatique générale à la télévision. Ce sera un succès considérable : plus de 10 000 personnes le suivent ; 5000 photocopiés de cours sont expédiés aux auditeurs intéressés ; 250 des plus grandes sociétés industrielles, commerciales et bancaires organisent des groupes de réception. Cependant, face à la lourdeur du dispositif technique et confronté aux coûts de réalisation, l'expérience se termine au milieu des années 1970.

##### *Concevoir des machines à enseigner*

Au début des années 1970, à l'initiative de René Chenon (titulaire de la chaire de « mathématiques appliquées aux arts et métiers »), est créé le Centre de recherche et

---

38. Les interventions de F.-H. Raymond sont nombreuses sur la question de l'informatique de gestion. Le résumé le plus complet de ses arguments se trouve dans Conseil de perfectionnement, 14 février 1978, pp. 13–14. Les positions de Raymond s'inscrivent dans une conception des relations entre l'informatique générale et l'informatique appliquée partagée par d'autres acteurs de la recherche informatique. Voir par exemple, OCDE, 1972, pp. 23–46.

d'expérimentation pour l'enseignement des mathématiques (CREEM). La machine support de ces expérimentations est l'IBM 360/30 du Laboratoire d'informatique, sur lequel il est possible de programmer dans le langage CourseWriter, développé par IBM à destination de problématiques d'enseignement. Les expérimentations s'inscrivent dans le cadre de « l'enseignement programmé », c'est-à-dire les réflexions sur les processus d'apprentissage et les manières de les améliorer, optimiser et automatiser. Sur la base de l'expertise en mathématique et en informatique dans le département, le CREEM développera également un dispositif baptisé MITSU-2003 (Monitrice d'instruction technique et scientifique individuelle), dont la réalisation technique a été confiée à la société SINTRA<sup>39</sup>. Les cours sont séquentialisés et diffusés sous forme de film (dessin animé) sur l'appareil : pas à pas, l'élève avance dans le cours en répondant à des questions (grâce à des curseurs intégrés dans la machine). En répondant correctement, il progresse, sinon il se voit proposer une correction ou une séquence plus simple à réaliser.

Ces expériences sont à l'image de la liberté pédagogique du Cnam, croisée avec l'expertise en mathématique et informatique qui s'y développe dans les années 1970. Ces expériences seront capitalisées, d'une certaine manière, dans des groupes de didactique des mathématiques, regroupés avec d'autres universités parisiennes dans les années 1980.

### **3.2. Développer l'« instrumentation numérique »**

La diffusion des techniques informatiques et numériques s'amplifiant, les demandes de formation se multiplient au Cnam pour développer des compétences ou accompagner les sujets émergents. C'est le cas de l'industrie des instruments scientifiques à la fin des années 1970, qui sollicite le Cnam pour la création d'une formation spécifique, à laquelle le Cnam répond en 1982 avec la création d'une chaire. Cet appel du pied du monde de l'instrumentation n'est en rien un fruit du hasard : le Cnam confirme sa position de relais entre les besoins du monde industriel et la construction d'une offre de formations informatiques novatrices en France, mais s'illustre également dans les domaines de la métrologie et de l'instrumentation.

Comme fréquemment au Cnam, l'opportunité de cette création est liée au renouvellement d'une chaire existante : au départ d'André Fournier (chaire « physique générale dans ses rapports à l'industrie ») en 1981 s'engage le processus d'échanges au sujet de l'« instrumentation numérique ». Le département physique-métrologie orchestre le processus, non pas le département d'électronique ou de mathématiques-informatique. Mais les discussions reflètent la convergence d'intérêts de ces multiples secteurs du Cnam<sup>40</sup>, à savoir : la métrologie et l'instrumentation qui sont développées à l'INM (Institut national de métrologie – institut du Cnam depuis 1968),

---

39. Société industrielle des nouvelles techniques radioélectriques et de l'électronique française.

40. Archives du Cnam, Conseil de perfectionnement (11 mai 1981, 6 janvier 1981) et Conseil d'administration (1982).

le département de physique (dans lequel vient d'être adopté la création d'une autre chaire de « méthodes physiques d'analyses chimiques »), l'électronique, l'informatique, et le département économie et gestion d'une manière plus indirecte<sup>41</sup>.

Le domaine de l'instrumentation bascule progressivement vers un mode de conception dans lequel les capteurs et le dispositif de traitement de l'information sont désormais le cœur du système de mesure. Cela est particulièrement valable pour la robotique et les grands systèmes automatisés dans l'industrie, en plein développement. Le consensus se forme au Cnam en 1981 pour la création d'une chaire « instrumentation numérique » (finalement intitulée « instrumentation scientifique ») qui intégrera le département physique-métrologie. Les besoins sont vastes au-delà de la fabrication d'un enseignement dédié, car il s'agit d'agréger des questions générales liées à la diffusion des instruments, des problématiques de conception autour des systèmes de traitement numérique des données, et de garder le lien avec l'industrie. Dans les années 1980, le microprocesseur (de sa programmation à son utilisation dans le contexte des systèmes de mesure numérique) est au cœur de ces enseignements.

Trouver des candidats à la mesure du projet n'a rien de simple en 1981 : ce domaine est jeune, et peu de physiciens sont rodés aux techniques informatiques et numériques<sup>42</sup>. Claude Morillon est recruté : son parcours et son action sont à l'image de la convergence recherchée. Chercheur au laboratoire Aimé Cotton (CNRS), il a travaillé sur des systèmes d'acquisition et traitement de données numériques pour la spectroscopie. Ce laboratoire a une forte activité technologique, depuis ses origines dans les années 1930, et compte parmi les lieux qui ont su développer leurs propres systèmes de calcul pour perfectionner les instruments scientifiques<sup>43</sup>. Les liens entre le laboratoire et l'industrie sont directs (Morillon travaillant avec le CEA, l'ONERA, la CGE, Thomson et beaucoup d'autres) : le Cnam accueille ainsi un transfuge déjà acclimaté aux problématiques d'enseignements et recherches technologiques.

### 3.3. *Du Laboratoire d'informatique au CEDRIC*

La structuration de l'informatique au Cnam connaît un tournant avec la constitution du laboratoire CEDRIC, Centre d'études et de recherche en informatique du

---

41. Comme un écho aux souhaits de redynamisation de l'économie française, sous l'influence des économistes, notamment de Jacques Lesourne – professeur au Cnam à la chaire d'économie et statistique industrielle – impliqué à cette période dans la prospective. Lesourne est l'auteur de rapports nombreux sur le sujet, d'un livre best-seller *Les Mille sentiers de l'avenir* en 1980, et marqué par ses observations à l'international, tout particulièrement le Japon et les États-Unis.

42. Archives du Cnam, Conseil de perfectionnement (Rapport de la commission des candidatures à la Chaire, 19 janvier 1982).

43. En particulier dans le domaine de la spectroscopie par transformée de Fourier (Connes, 1992 ; Kaspi et Ramunni, 2003).

Cnam, entre 1988 et 1990. La création de cette structure est congruente à l'autonomisation du sujet dans l'établissement, au-delà des chaires et départements d'enseignement, et vient amplifier une dynamique de recherche préexistante en informatique depuis le milieu des années 1970. Par rapport à la situation de la fin des années 1960, cette dynamique correspond tout à la fois à un changement de génération d'acteurs, à l'évolution des matériels informatiques, leurs usages, ou encore aux travaux expérimentaux réalisés sur les systèmes et réseaux informatiques par un petit noyau de chercheurs. Ces réalisations restent mineures par leur reconnaissance interne au Cnam, mais majeures par leur participation aux grandes trajectoires de l'informatique.

### *De nouveaux matériels pour une internationalisation accrue*

En 1973, le Cnam inaugure une seconde salle de machines avec des matériels qui évoluent par l'acquisition d'un MODULAR One du fabricant anglais CTL. Les mini-ordinateurs connaissent alors un franc succès : moins lourds que les *mainframes*, ils ouvrent de nouveaux usages. Parallèlement la connexion avec le CIRCE (Centre de calcul du CNRS à Orsay) est opérationnelle via le terminal IBM-2780 installé au Cnam : télétraitement et mini-ordinateurs sont les bases informatiques du moment dans l'enseignement supérieur et la recherche. Au Cnam, les moyens sont toujours partagés et mutualisés avec les services centraux, de gestion et comptabilité.

L'acquisition des machines de type grands systèmes et mini-ordinateurs, demandant de lourds investissements, est une question sensible dans les années 1970 – et le Cnam n'est pas le seul établissement dans ce cas à cette époque. Après la période de stimulation du Plan Calcul, le parc informatique des universités françaises a besoin de renouvellement, mais les crédits sont restreints et la politique de préférence nationale est encore d'actualité. Gérard Florin se rappelle « en 1978, l'IBM 360 a 10 ans, il tient tout le Cnam »<sup>44</sup>. Suite à un mouvement de grève des opérateurs du centre de calcul, bloquant les paies, la décision est prise de séparer les ordinateurs dédiés à l'administration de ceux dédiés aux enseignements. Une commande de PDP-11/70 du constructeur américain DEC est négociée en 1978<sup>45</sup> : dans une salle séparée du centre de calcul, il sera utilisé le jour par l'administration, le soir par les enseignants du département mathématiques-informatique à des buts d'expérimentation. Cette machine phare de l'époque fera le pont avec les avancées américaines sur les systèmes – car on peut y installer le système d'avant-garde Unix. À l'aube de la décennie suivante, la prochaine étape est celle du remplacement de l'IBM 360 et du

---

44. Entretien avec Gérard Florin, par Camille Paloque-Berges et Loïc Petitgirard, le 7 avril 2016.

45. Dans le contexte des débats sur l'exportation du matériel informatique à buts militaires, la France est l'un des pays mis sous embargo par les États-Unis. Chaque achat d'ordinateur américain doit être motivé, négocié, et accompagné d'une lettre du gouvernement attestant d'une utilisation non militaire. Ce sera l'occasion pour la France de prolonger sa politique préférentielle après la fin du Plan Calcul.

Modular One, au profit d'un VAX-11/780 de DEC pour les besoins pédagogiques cette fois, avec les premiers terminaux vidéo, permettant plus d'interactivité.

On peut s'arrêter sur un projet particulier mené au sein du Laboratoire d'informatique, qui illustre bien l'hybridité des travaux expérimentaux des acteurs de l'informatique au Cnam. Les toutes premières recherches en informatique sont orientées sur les réseaux. En effet, Gérard Florin, recruté comme enseignant-chercheur en 1971 (« maître-assistant ») commence une thèse de troisième cycle portant sur le raccordement de deux machines au Laboratoire, l'IBM 360 et le Modular One (thèse soutenue à Paris 6 en 1975). Cet intérêt pour les réseaux continuera sous une forme théorique lors de recherches ultérieures sur les réseaux de Petri. Mais il prend également une forme toute pratique, à l'occasion de l'achat des nouvelles machines PDP et Vax.

En effet, un projet de développement de réseau local est lancé dès la fin des années 1970, qui permet de « tirer » les premières liaisons de réseau intranet (sur la technologie Ethernet) à travers l'établissement – réseau dont profitera l'administration aussi bien que le personnel enseignant et les étudiants. Un SYSTIME-8750, clone du Vax, sera doté d'un système Unix en 1981. Le Laboratoire d'informatique est un service auxiliaire, mais une dynamique de recherche s'y est engagée depuis le milieu des années 1970 sous l'impulsion de son directeur Gérard Florin et de Claude Kaiser, enseignant-chercheur au département mathématiques-informatique.

Ces nouvelles équipes regardent en direction des États-Unis et des derniers développements sur les systèmes informatiques : Multics, pour les systèmes en temps partagé, puis Unix, qui bénéficie d'un engouement dans la communauté informaticienne universitaire. Elles ont créé des liens avec leurs homologues américains, mais aussi européens, à travers des réseaux académiques, industriels et associatifs. Patronné par le groupe d'utilisateurs européens d'Unix (EUUG), le *European Unix Systems User Group OPEN Meeting* est organisé en 1982 au Cnam. Leurs pairs néerlandais, du Centre de recherche en mathématique et informatique (CWI) de l'université d'Amsterdam, y présentent leur dernière réalisation : la mise en place d'un nœud central de redistribution des réseaux de machines Unix américains dans l'espace européen, qui s'appellera EUNET. Ce réseau, fondé sur le protocole UUCP, utilise les infrastructures de réseau informatique des télécommunications pour distribuer les données de manière décentralisée, de machine à machine. Permettant les échanges par emails et par groupes de discussion Usenet, il créera rapidement des passerelles vers l'Internet en train de consolider ses standards protocolaires TCP-IP, implémentés en 1983. La branche française, Fnet, qui relaie la distribution des données dans l'espace des laboratoires de recherche et développement français munis de machines Unix, sera créée et gérée au Laboratoire d'informatique du Cnam à partir de 1983, sans autorisation de l'administration (Paloque-Berges, 2016)<sup>46</sup>. Le réseau FNET sera un support de

46. Archives du Laboratoire d'informatique, années 1981–1984 (34-02.11 B11-B12). Le « Fonds Lippman » (34-02.03 1), issu d'un don de Daniel Lippman, ingénieur au Laboratoire d'informatique dans les

communication et de collaboration avec la communauté des systèmes ouverts à l'international, mais également en France, introduisant les réseaux Internet en France et préfigurant les réseaux académiques de la recherche comme Renater en 1993<sup>47</sup>.

### *Du « Laboratoire des systèmes informatiques » au CEDRIC*

Au fil des années 1970, la configuration en termes de matériel et d'acteurs évolue et autorise progressivement le développement d'une entité au sein du département mathématiques-informatique : le « Laboratoire des systèmes informatiques ». Il s'agit encore d'une initiative informelle, équipe sans support ou contour administratif, lancée par Claude Kaiser professeur depuis 1974 au département. En 1975, Kaiser remet un bilan à la direction faisant état de l'absence de recherche dans la discipline au Cnam. Fort d'une expérience de recherche avancée à l'IRIA les dix années précédentes, il est soutenu par François-Henri Raymond, qui a lui-même sans succès tenté de mettre en place une dynamique de recherche autour des machines depuis son arrivée<sup>48</sup>. Ce projet réunit des enseignants-chercheurs du département, de l'IIE, le directeur du Laboratoire d'informatique Gérard Florin ainsi que ses ingénieurs (Stéphane Natkin, Humberto Lucas et Bernard Martin). Ces équipes mobilisent les ressources matérielles du Laboratoire d'informatique, en particulier les nouvelles machines. L'équipe s'auto-organise autour de séminaires en partenariat avec l'AF-CET, d'une activité de veille technologique et produit ses premières publications<sup>49</sup>. Ce laboratoire improvisé abritera des recherches sous contrat avec des SSII ou des industriels, réparties dans des équipes (systèmes répartis, équipe sûreté de fonctionnement, recherche opérationnelle).

Kaiser est élu en 1982 à la chaire dévolue précédemment à F.-H. Raymond, après le départ de ce dernier à la retraite. La décennie des années 1980 voit le département mathématiques-informatique se structurer grâce à une présence accrue des informaticiens dans les instances, alors que les conflits de la décennie précédente ont été résolus. L'effort de Kaiser et de ses équipes portera sur la formalisation d'un véritable laboratoire de recherche. Pour cela, il s'appuie en particulier sur les nouvelles formations doctorales permises à partir de 1985, afin de rendre l'effort de recherche indépendant du système des chaires et gagner en autonomie<sup>50</sup>.

---

années 1970–1990), renseigne en particulier sur les aspects logistiques de cette expérimentation, importants pour comprendre comment elle a lieu dans l'ombre des programmes d'équipement en télécommunication de l'établissement. En effet, la facturation des échanges de données se faisait sur le réseau TRANSPAC (France Télécom), masquant les connexions UUCP.

47. La gestion de Fnet sera ensuite confiée à l'INRIA à partir de 1986, où sera créée une première liaison directe transatlantique avec Internet en 1988, la même année qu'au CWI d'Amsterdam (Griset et Schafer, 2012).

48. Pour une vision globale des dynamiques de recherche à l'IRIA à cette époque, voir Beltran et Griset, 2007.

49. Fonds des archives privées de Claude Kaiser, aimablement fourni par l'intéressé.

50. Voir l'entretien des auteurs avec Claude Kaiser, dans ce numéro.

Porté par ce groupe d'acteurs, le projet scientifique du futur laboratoire CEDRIC est déposé en 1988 aux Conseils de perfectionnement et d'administration. Il faut attendre deux ans avant qu'il ne soit officialisé au niveau des instances, après une série de réajustements requis afin que le laboratoire représente l'ensemble des recherches en informatique au sein de l'établissement. Le laboratoire est créé à la condition qu'il ne réclame pas de nouvelle ligne budgétaire. Sa reconnaissance en tant qu'équipe d'accueil par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche au début des années 1990 viendra pallier ce problème budgétaire.

Dans les premières années du CEDRIC, le laboratoire compte près de 40 chercheurs (incluant membres permanents, doctorants, etc.), et oriente ses recherches sur quelques grandes thématiques : systèmes répartis, optimisation, environnements de programmation, intelligence artificielle, conception de systèmes d'information. Cette photographie du CEDRIC à sa création montre la convergence des trajectoires et le fruit de plusieurs années de structuration de l'informatique.

Le CEDRIC est le produit d'une longue construction et institutionnalisation de l'informatique au Cnam, aboutissant à une structuration moderne : le Cnam possède un laboratoire et une filière d'enseignement sur la place parisienne. Il conserve néanmoins quelques spécificités, en particulier la volonté de garder une perspective « appliquée », une recherche de niveau académique, mais finalisée. C'est le prolongement d'un héritage, d'une histoire au contact du monde industriel, où la formation des ingénieurs est un horizon important. Le système des chaires, historiquement très structurant pour l'établissement, a souvent déterminé les conceptions et pratiques de l'enseignement et de la recherche au Cnam. De ce point de vue, la reconnaissance de la discipline Informatique, l'ouverture de marges pour l'expérimentation en informatique, la création du CEDRIC avec la montée des formations doctorales ont pu également marquer une inflexion dans l'histoire longue du Cnam.

## Bibliographie

Beltran A. et Griset P. (2007). *Histoire d'un pionnier de l'informatique : 40 ans de recherche à l'Inria*, Les Ulis, EDP sciences.

Boutry G-A., Dumas M., Fourastié J., Guérin P., Payen J., et Ragey L. (1970). *Cent cinquante ans de haut enseignement technique au Cnam*, Paris, ministère de l'Éducation nationale.

Connes P. (1992). Pierre Jacquinot and the beginnings of Fourier transform spectrometry. *Journal de Physique II*, EDP Sciences, 2 (4), pp. 565–571.

Griset P. et Schafer V. (2012). Make the pig fly ! : l'Inria, ses chercheurs et Internet des années 1970 aux années 1990. *Le Temps des Médias*, n° 18, pp. 41–52.

Grossetti M. (2005). L'académisation des savoirs techniques. La lente progression des sciences d'ingénieurs dans les universités et la recherche académique. Communication pour le Groupe de Travail « Sciences, innovation technologiques et sociétés », AISLF, Congrès de Tours, juillet 2004.

Hayat S., Petitgirard L. (2014). Télé-Cnam : enjeux politiques et dispositifs techniques d'une innovation pédagogique. *Cahiers d'histoire du Cnam*, vol. 1, pp. 127–140.

Kaspi A. et Ramunni G. (2003). Pierre Jacquinot. *La revue pour l'histoire du CNRS*, n° 9.

Mounier-Kuhn P-E. (1994). Product Policies in Two French Computer Firms : SEA and Bull (1948–1964). *Information Acumen – The Understanding and Use of Knowledge in Modern Business* (Lisa Bud-Frierman, ed.), Routledge, London, 1994.

Mounier-Kuhn P-E. (2010). *L'informatique en France de la seconde guerre mondiale au Plan Calcul. L'émergence d'une science*, Paris, PUPS.

OCDE (1972). Problèmes et perspectives de la recherche fondamentale dans les domaines multidisciplinaires, Informatique, Paris, OCDE.

Paloque-Berges C. (2016). Mapping a French Internet Experience. A decade of Unix networks cooperation (1983–1993), in Gerard Goggin and Mark McLelland (eds.), *Internet Global Histories*, Routledge.

Touchelay B. (2011). *L'État et l'entreprise. Une histoire de la normalisation comptable et fiscale française*, Rennes, PUR.





## Bilan du prix de thèse Gilles Kahn 2016

Patricia Bouyer-Decitre

---

Le prix de thèse Gilles Kahn 2016, décerné par la SIF et patronné par l'Académie des sciences, a été attribué à :

FABRICE BEN HAMOUDA--GUICHOUX

*pour sa thèse « Diverse modules and zero-knowledge », soutenue à l'École normale supérieure et préparée dans l'équipe Crypto du DI/ENS (équipe-projet Inria Cascade), sous la direction de Michel Ferreira Abdalla et David Pointcheval.*

Les accessits (par ordre alphabétique) ont été décernés à :

ANTOINE CULLY

*pour sa thèse « Adaptation créative par apprentissage », soutenue à l'université Pierre et Marie Curie et préparée à l'ISIR, sous la direction de Stéphane Doncieux et Jean-Baptiste Mouret.*

LUDOVIC PATEY

*pour sa thèse « Les mathématiques à rebours de théorèmes de type Ramsey », soutenue à l'université Paris Diderot et préparée à l'IRIF, sous la direction de Laurent Bienvenu et Hugo Herbelin.*

ARTHUR PERAIS

*pour sa thèse « Increasing the Performance of Superscalar Processors through Value Prediction », soutenue à l'université de Rennes 1 et préparée dans l'équipe-projet Inria ALF de l'IRISA, sous la direction d'André Seznec.*

Les thèses des lauréats sont accessibles sur le site de la SIF :

[http://www.societe-informatique-de-france.fr/recherche/  
prix-de-these-gilles-kahn/](http://www.societe-informatique-de-france.fr/recherche/prix-de-these-gilles-kahn/)

et les différents travaux de thèse seront racontés dans les semaines qui viennent dans la rubrique « Il était une fois... ma thèse » du blog binaire à l'adresse :

<http://binaire.blog.lemonde.fr/category/une-fois-ma-these/>

Un résumé de chacune de ces thèses vous est également proposé dans les articles suivants de ce numéro de 1024.

Le jury a reçu cette année 35 dossiers couvrant un très large spectre de travaux de recherche et en provenance de nombreux laboratoires de recherche en informatique. Quelques thématiques et laboratoires étaient cependant absents. Nous rappelons donc que ce prix s'adresse à l'ensemble de la discipline informatique et à l'ensemble des laboratoires ou centres de recherche français.

Le jury 2016 était présidé par Patricia Bouyer-Decitre, assistée par Pierre Bourhis, secrétaire du prix. Le jury était constitué de Stéphane Bessy, Xavier Blanc, Sylvie Boldo, Pierre Bourhis, Patricia Bouyer-Decitre, Gaëlle Calvary, Arnaud Carayol, Jérémie Chalopin, Sylvie Coste-Marquis, Guillaume Charpiat, François Fages, Sébastien Gams, Frédéric Jurie, Stephan Merz, Marc Mezzarobba, Nicolas Perrin, Florence Sèdes, Laurent Simon, Damien Stehlé, Nicolas Trotignon et Charlotte Truchet.

Merci à tous les candidats pour la qualité de leurs travaux et merci aux membres du jury pour leur participation.



## *Diverse modules* et preuves à divulgation nulle de connaissance

Fabrice Benhamouda<sup>1</sup>

---

*Prix de thèse Gilles Kahn 2016*

*Fabrice Benhamouda a soutenu sa thèse<sup>2</sup> en juillet 2016 à l'École normale supérieure de Paris (membre de l'université de recherche Paris Sciences et Lettres), sous la direction de Michel Abdalla et David Pointcheval. Il effectue actuellement un stage postdoctoral au sein de l'équipe de cryptographie d'IBM Research à New York aux États-Unis.*



Les arguments ou preuves à divulgation nulle de connaissance sont des primitives cryptographiques fondamentales introduites par Goldwasser, Micali et Rackoff en 1985 [13] et considérées comme l'une des contributions les plus importantes de Goldwasser et Micali dans le communiqué leur décernant le prix Turing en 2012<sup>3</sup>. Ils permettent à un utilisateur, appelé prouveur, de démontrer à un autre utilisateur, appelé vérifieur, qu'un certain fait est vrai, sans révéler aucune information, si ce n'est la véracité de ce fait. Les faits considérés sont l'appartenance d'un mot à un langage NP. Les applications des arguments à divulgation nulle de connaissance sont innombrables en cryptographie, où ils sont en général incontournables dans les constructions de protocoles sécurisés.

1. <https://www.normalesup.org/~fbenhamo>

2. <https://hal.inria.fr/tel-01399476>

3. <http://www.acm.org/press-room/awards/turing-award-12>

Par exemple, de tels arguments sont utilisés par le système de vote électronique *Helios*<sup>4</sup> pour s'assurer que les utilisateurs forment correctement leur bulletin de vote. Du fait de l'importance des arguments à divulgation nulle de connaissance, de nombreuses variantes ont été considérées pour satisfaire différentes applications. Les outils développés dans cette thèse permettent la construction d'un certain nombre de ces variantes.

Les *smooth* (ou *universal*) *projective hash functions* (SPHF) ont été introduites par Cramer et Shoup en 2002 [11]. Depuis, elles ont trouvé de nombreuses autres applications : les schémas d'authentification par mot de passe [14, 12, 7, 1] qui sont maintenant utilisés dans le protocole *Thread*<sup>5</sup> de *Nest* pour l'Internet des objets ; les schémas d'*oblivious transfer* [1] qui sont une brique de base de nombreux protocoles de calcul sécurisé ; et les signatures en blanc [10, 7], utiles pour la monnaie électronique notamment. Les SPHF peuvent être vues comme des preuves implicites d'appartenance à certains langages.

Au cours de cette thèse, nous avons non seulement étendu la classe des langages supportés par les SPHF, mais aussi montré comment adjoindre des propriétés additionnelles aux SPHF et comment utiliser ces propriétés additionnelles pour renforcer la sécurité des applications susmentionnées. Pour cela, nous avons proposé la notion de *diverse modules*, qui généralise la notion de *diverse vector spaces* déjà présente dans l'article original de Cramer et Shoup mais que nous avons exploitée et développée dans nos papiers.

Un *diverse module* est essentiellement une représentation d'un langage, comme un sous-module d'un module plus grand, un module étant un espace vectoriel sur un anneau. À n'importe quel *diverse module* est associée une SPHF pour le même langage. Par ailleurs, presque toutes les SPHF actuelles sont construites de cette manière ou pourraient l'être sans perte d'efficacité.

La notion de *diverses modules* présente de nombreux avantages. Tout d'abord, les *diverse modules* facilitent grandement la construction de SPHF pour des langages complexes. Ensuite, ils peuvent aisément être combinés et étendus, de façon à ce que les SPHF résultantes correspondent à la conjonction ou la disjonction des langages des SPHF originales, ou de façon à ce qu'elles satisfassent des propriétés additionnelles utiles pour des applications plus complexes ou plus sûres [9]. Enfin, les *diverse modules* ont permis la construction des premiers arguments non-interactifs à divulgation nulle de connaissance et *one-time simulation-sound* (une propriété très forte) pour les langages linéaires sur les groupes cycliques, où la preuve est constituée d'un seul élément de groupe, même si le témoin du langage est arbitrairement grand [5].

Si le manuscrit de thèse se concentre sur les SPHF et leurs applications aux preuves à divulgation nulle de connaissance, nos contributions ne se limitent pas

---

4. <https://heliosvoting.org>

5. <https://www.threadgroup.org>

à ce thème. En particulier, nous avons aussi proposé un cadre général algébrique pour la construction et la preuve de sécurité des fonctions pseudo-aléatoires (PRFs) et d'extensions de ces PRFs [4, 2, 3]. Nous nous sommes également intéressé à la quantité d'aléa nécessaire dans certaines implémentations sécurisées de primitives cryptographiques [6]. Nous avons aussi étudié les preuves à divulgation nulle de connaissance sur les réseaux euclidiens [8] qui peuvent potentiellement offrir des solutions cryptographiques sûres contre les ordinateurs quantiques.

## Références

- [1] M. Abdalla, F. Benhamouda, O. Blazy, C. Chevalier, and D. Pointcheval. SPHF-friendly non-interactive commitments. In *ASIACRYPT 2013*.
- [2] M. Abdalla, F. Benhamouda, and A. Passelègue. An algebraic framework for pseudorandom functions and applications to related-key security. In *CRYPTO 2015*.
- [3] M. Abdalla, F. Benhamouda, and A. Passelègue. Multilinear and aggregate pseudorandom functions : New constructions and improved security. In *ASIACRYPT 2015*.
- [4] M. Abdalla, F. Benhamouda, A. Passelègue, and K. G. Paterson. Related-key security for pseudorandom functions beyond the linear barrier. In *CRYPTO 2014*.
- [5] M. Abdalla, F. Benhamouda, and D. Pointcheval. Disjunctions for hash proof systems : New constructions and applications. In *EUROCRYPT 2015*.
- [6] S. Belaïd, F. Benhamouda, A. Passelègue, E. Prouff, A. Thillard, and D. Vergnaud. Randomness complexity of private circuits for multiplication. In *EUROCRYPT 2016*.
- [7] F. Benhamouda, O. Blazy, C. Chevalier, D. Pointcheval, and D. Vergnaud. New techniques for SPHFs and efficient one-round PAKE protocols. In *CRYPTO 2013*.
- [8] F. Benhamouda, J. Camenisch, S. Krenn, V. Lyubashevsky, and G. Neven. Better zero-knowledge proofs for lattice encryption and their application to group signatures. In *ASIACRYPT 2014*.
- [9] F. Benhamouda, G. Couteau, D. Pointcheval, and H. Wee. Implicit zero-knowledge arguments and applications to the malicious setting. In *CRYPTO 2015*.
- [10] O. Blazy, D. Pointcheval, and D. Vergnaud. Round-optimal privacy-preserving protocols with smooth projective hash functions. In *TCC 2012*.
- [11] R. Cramer and V. Shoup. Universal hash proofs and a paradigm for adaptive chosen ciphertext secure public-key encryption. In *EUROCRYPT 2002*.
- [12] R. Gennaro and Y. Lindell. A framework for password-based authenticated key exchange. In *EUROCRYPT 2003*.
- [13] S. Goldwasser, S. Micali, and C. Rackoff. The knowledge complexity of interactive proof-systems (extended abstract). In *ACM STOC 1985*.
- [14] J. Katz, R. Ostrovsky, and M. Yung. Efficient password-authenticated key exchange using human-memorable passwords. In *EUROCRYPT 2001*.





# Adaptation créative par apprentissage

Antoine Cully<sup>1</sup>

---

*Accessit du prix de thèse Gilles Kahn 2016*

*Antoine Cully a soutenu sa thèse<sup>2</sup> en décembre 2015 à l'université Pierre et Marie Curie (Paris-VI), sous la direction de Jean-Baptiste Mouret et Stéphane Doncieux, au sein de l'Institut des systèmes intelligents et de robotique (ISIR). Il occupe actuellement un poste d'Associate Researcher au sein du Personal Robotics Laboratory à l'Imperial College London au Royaume-Uni. Ses nouvelles recherches visent à appliquer des méthodes d'apprentissage pour personnaliser et adapter le comportement de robots aux préférences ou spécificités de leurs utilisateurs.*



Les robots ont le potentiel d'aider notre société dans de nombreuses situations, par exemple pour chercher des survivants après des catastrophes naturelles ou pour alerter les pompiers en cas de feu de forêt. Au-delà des profondes transformations que la robotique a entraînées dans l'industrie manufacturière, les robots sont susceptibles d'apporter de grands bénéfices pour la société, par exemple en intervenant sur des lieux de catastrophes naturelles, lors de secours à la personne ou dans le cadre de la santé et des transports. Cependant, l'un des obstacles majeurs à leur utilisation en dehors des environnements parfaitement contrôlés des usines, est leur fragilité [MTN<sup>+</sup>08]. Les robots actuels ont des difficultés à faire preuve de créativité

---

1. <http://www.antoinecully.com/>

2. Manuscrit consultable à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01265957/>

lorsqu'ils doivent surmonter un problème inattendu : ils sont limités aux capteurs qu'ils embarquent et ne peuvent diagnostiquer que les situations qui ont été anticipées par leurs concepteurs.

Contrairement aux robots actuels, les êtres vivants ont une impressionnante capacité d'adaptation aux blessures. Ainsi, la plupart des chiens amputés d'une patte sont capables de jouer, sauter, et courir ; et un enfant avec une cheville foulée n'a besoin que de quelques minutes pour trouver une manière de boiter. L'objectif de mes travaux de thèse est de fournir aux robots les capacités d'apprentissage nécessaires afin de leur fournir les mêmes capacités d'adaptation. Nous sommes partis de l'observation que les animaux ne partent pas de zéro pour s'en sortir, ils connaissent leur corps, ils ont de l'expérience et possèdent de bonnes intuitions sur les différentes manières de réagir. L'ensemble de ces connaissances leur permet de choisir intelligemment quelques comportements à essayer et, après quelques tests, ils arrivent à en trouver un qui fonctionne malgré la blessure. Les algorithmes que nous avons développés permettent à nos robots de faire la même chose.

Avant d'être envoyé en mission, le robot utilise une simulation de son corps pour créer une « carte » détaillée des milliers de manières différentes de réaliser sa tâche : cette carte représente les intuitions du robot concernant les comportements intéressants et leur potentiel. Si le robot est endommagé, il utilise ses intuitions pour guider un algorithme d'apprentissage qui réalise des expériences afin de découvrir rapidement un comportement de compensation. Le nouvel algorithme a été baptisé « *Intelligent Trial & Error* » (essai-erreur intelligent).

Lorsqu'il est endommagé, notre robot se comporte comme un scientifique. Il a des *a priori* à propos des différentes actions qui pourraient fonctionner et il commence par les tester. Cependant, ces *a priori* viennent de la simulation du robot intact. Il doit donc trouver celles qui fonctionnent toujours malgré le/les dommages. Chaque action qu'il essaie est comme une expérience qui confirme ou infirme ses hypothèses. Si une action ne fonctionne pas, l'algorithme élimine de manière intelligente des catégories entières d'action pour essayer des choses complètement différentes. Par exemple, si marcher en s'appuyant essentiellement sur les pattes arrières ne fonctionne pas correctement, le robot essaiera alors de marcher en mettant son poids sur les pattes avant.

Nous avons testé notre algorithme sur un robot à six pattes qui réapprend à marcher après plusieurs scénarios de panne (une ou deux pattes arrachées, brisées ou déconnectées), ainsi que sur un bras robot apprenant à placer correctement un objet malgré plusieurs moteurs coincés (14 scénarios différents ont été testés avec ce robot)<sup>3</sup>. Les résultats montrent que notre algorithme permet à nos robots de s'adapter à toutes les situations de panne en moins de deux minutes, même lorsque la

---

3. Vidéo disponible à l'adresse : <https://youtu.be/T-c17RKh3uE>

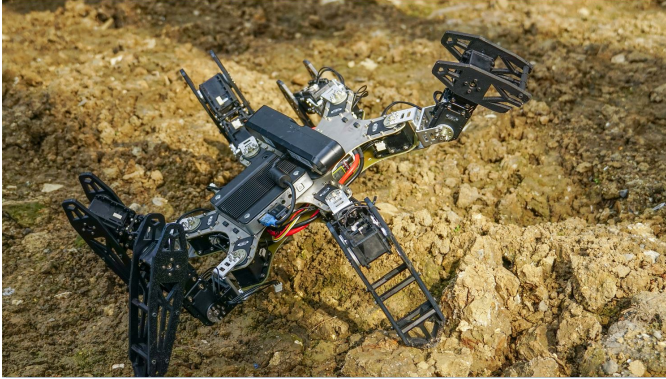


FIGURE 1. Notre robot hexapode apprend de manière autonome comment faire face à des situations de pannes mécaniques grâce à notre algorithme « *Intelligent Trial & Error* ». La photo montre le cas où l'une des pattes du robot est cassée. Pour continuer à avancer malgré la panne, le robot utilise une carte contenant différentes façons de marcher et leur performance respective qui a été générée *a priori* à l'aide d'une simulation physique. Pour s'adapter, le robot sélectionne un comportement qu'il prédit comme étant efficace et le teste en réalité. Si le comportement sélectionné ne fonctionne pas, le robot continue son exploration de la carte en sélectionnant un nouveau comportement qui est à la fois suffisamment différent du précédent et prédit comme étant performant. Ce nouvel algorithme permet à des robots endommagés de continuer leur mission après seulement une minute de temps d'apprentissage et moins d'une dizaine d'essais.

panne est particulièrement sévère, comme lorsque l'on arrache deux pattes à notre robot [CCTM15].

D'un point de vue technique, l'algorithme est divisé en deux étapes : (1) créer la carte de l'espace comportement-performance, et (2) l'adaptation à la nouvelle situation. La carte de la première étape est créée avec un nouveau type d'algorithme évolutionniste appelé MAP-Elites [MC15]. Cet algorithme s'inspire de l'évolution darwinienne pour trouver une large collection de solutions à la fois diverses et performantes. Cet algorithme, ainsi que d'autres travaux de cette thèse ont conduit à l'émergence d'un nouveau domaine de recherche nommé « Optimisation qualité et diversité » [CM13, CM16, PSSS15]. L'adaptation dans la seconde partie s'appuie

sur un algorithme d'optimisation bayésienne [BCDF10], qui exploite les connaissances *a priori* fournies par la carte pour trouver rapidement un nouveau comportement. Les résultats expérimentaux montrent que le point clé de cet algorithme est dans la création et l'exploitation des *a priori*, ce qui permet à notre approche d'être au moins un ordre de grandeur plus rapide que les méthodes d'apprentissage classiques [CCTM15].

**Remerciements.** Ce travail a reçu l'aide de l'Agence nationale pour la recherche (Creadapt, ANR-12-JS03-0009), de l'European Research Commission (ResiBots, grant agreement No 637972), et de la Direction générale de l'armement (thèse de A. Cully).

## Références

- [BCDF10] Eric Brochu, Vlad M Cora, and Nando De Freitas. A tutorial on bayesian optimization of expensive cost functions, with application to active user modeling and hierarchical reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv :1012.2599*, 2010.
- [CCTM15] Antoine Cully, Jeff Clune, Danesh Tarapore, and Jean-Baptiste Mouret. Robots that can adapt like animals. *Nature*, 521(7553) :503–507, 2015.
- [CM13] Antoine Cully and Jean-Baptiste Mouret. Behavioral repertoire learning in robotics. In *Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, pages 175–182. ACM, 2013.
- [CM16] Antoine Cully and J-B Mouret. Evolving a behavioral repertoire for a walking robot. *Evolutionary computation*, 24(1) :59–88, 2016.
- [MC15] Jean-Baptiste Mouret and Jeff Clune. Illuminating search spaces by mapping elites. *arXiv preprint arXiv :1504.04909*, 2015.
- [MTN<sup>+</sup>08] Robin R Murphy, Satoshi Tadokoro, Daniele Nardi, Adam Jacoff, Paolo Fiorini, Howie Choset, and Aydan M Erkmen. Search and rescue robotics. In *Springer Handbook of Robotics*, pages 1151–1173. Springer, 2008.
- [PSSS15] Justin K Pugh, LB Soros, Paul A Szerlip, and Kenneth O Stanley. Confronting the challenge of quality diversity. In *Proceedings of the 2015 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, pages 967–974. ACM, 2015.



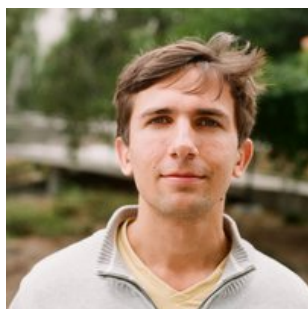
# Les mathématiques à rebours de théorèmes de type Ramsey

Ludovic Patey<sup>1</sup>

---

*Accessit du prix de thèse Gilles Kahn 2016*

*Ludovic Patey a soutenu sa thèse<sup>2</sup> en février 2016 à l'université Paris Diderot (Paris-VII), sous la direction de Laurent Bienvenu et Hugo Herbelin au sein de l'Institut de recherche en informatique fondamentale (IRIF). Il effectue actuellement un post-doctorat à l'université de Californie, Berkeley.*



En mathématiques, il est commun de parler de *théorèmes* sans préciser la théorie sous-jacente. Le mathématicien, interrogé, balayera la question en affirmant que dans la pratique, on se place implicitement dans la théorie des ensembles avec l'*axiomatique de Zermelo-Fraenkel* (ZF). Cependant, cette convention a tendance à faire oublier un fait fondamental : les théorèmes ne sont pas des vérités absolues. Leur validité dépend de celle des axiomes de la théorie. Si l'*axiomatique de Zermelo-Fraenkel* est de nos jours largement acceptée par la communauté, le choix des axiomes pour les mathématiques a été sujet à de grandes controverses, notamment lors de la fameuse *crise des fondements* de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. En outre, Gödel [2] a montré en 1931, à travers ses *théorèmes d'incomplétude*, que la démarche de trouver de nouveaux axiomes pour compléter les mathématiques

---

1. <https://ludovicpatey.com/>

2. Consultable à l'adresse <http://ludovicpatey.com/media/research/phd-thesis.pdf>

était vouée à ne jamais se terminer. En effet, il restera toujours des énoncés mathématiques ni prouvables, ni infirmables. Ainsi, non seulement tout l'édifice des mathématiques repose sur la validité des axiomes, mais en plus il nous en manque... Quelles garanties avons-nous de la validité de nos axiomes ? Et puis pourquoi ces axiomes plutôt que d'autres ? Est-ce que choisir l'axiomatique de la théorie des ensembles est un acte de foi ?

Les mathématiques à rebours [7] sont un grand programme cherchant à apporter des réponses à la question des fondements des mathématiques. Le raisonnement est le suivant : après tout, peu importe qu'il existe des énoncés indécidables. Les mathématiques auxquelles la société s'intéresse forment un sous-ensemble très restreint de l'univers des possibles. On veut surtout des garanties sur les théorèmes du cœur des mathématiques, ceux que l'on apprend au lycée, que l'on utilise en entreprise, et non pas quelque obscur résultat de théorie des ensembles sous l'hypothèse de grands cardinaux. De quels axiomes a-t-on vraiment besoin pour prouver les théorèmes de la vie de tous les jours ? Les mathématiques à rebours cherchent donc à classer les théorèmes en fonction des axiomes qui leur sont nécessaires.

Comment procède-t-on ? Prenons un théorème  $T$ . Pour trouver les axiomes nécessaires à  $T$ , la première étape consiste à analyser la preuve du théorème pour en extraire les hypothèses. Parfois, il faut chercher de nouvelles preuves plus élémentaires afin de trouver les axiomes les plus faibles possibles. Mais comment savoir, une fois les axiomes  $A_1, \dots, A_n$  obtenus, qu'ils sont vraiment *nécessaires* ? L'idée est alors de montrer que le théorème  $T$  contient déjà l'information des axiomes dans son énoncé, au sens où le théorème prouve les axiomes. Cette démarche inversée donne son nom aux *mathématiques à rebours*.

Depuis la fondation du domaine en 1976 par Friedman et Simpson, des milliers de théorèmes ont été analysés, et deux grandes observations surprenantes ont été faites : tout d'abord, la grande majorité<sup>3</sup> des théorèmes « ordinaires » ne nécessitent que des axiomes calculatoirement très faibles. En particulier, les énoncés finis prouvables par les mathématiques infinitaires le sont déjà par des méthodes finitaires, ce qui justifie notamment l'utilisation de l'infini en mathématiques. En effet, l'infini peut être perçu comme un outil permettant de prouver de manière plus simple des propriétés sur les objets finis [6]. La seconde observation est que les mathématiques sont très structurées, au sens où la grande majorité des théorèmes est équivalente à cinq grands ensembles d'axiomes. Cette seconde observation soulève de nouvelles questions, notamment de savoir si cette apparente structure des mathématiques reflète un biais humain dans l'exploration des concepts, ou s'il existe un phénomène plus profond qu'il convient d'analyser.

Cependant, quelques théorèmes provenant de la théorie de Ramsey échappent à cette observation de structure. Informellement, cette théorie nous dit qu'étant donné

---

3. Au moins 85 % des mathématiques selon les estimations de Simpson [5].

une suffisamment grande collection d'objets, il est toujours possible d'obtenir une sous-collection arbitrairement grande qui satisfera certaines propriétés structurelles. L'exemple le plus connu est le *théorème de Ramsey*, qui énonce que pour toute coloration finie des  $n$ -uplets d'entiers naturels, il existe un ensemble infini d'entiers tel que tous les  $n$ -uplets sur cet ensemble ont la même couleur. L'étude des axiomes nécessaires au théorème de Ramsey ainsi que de ses conséquences s'est avérée surprenamment compliquée [4, 1], et constitue à elle seule un pan entier des mathématiques à rebours modernes [3].

Afin de mieux comprendre ce phénomène de la théorie de Ramsey, la communauté a dû développer une grande variété d'outils inspirés de la théorie des ensembles, de la théorie de la preuve, et de la calculabilité. Au cours de cette thèse, nous avons unifié les méthodes d'analyse des variantes du théorème de Ramsey en une méthodologie générale, permettant notamment d'extraire des informations calculatoires sur les théorèmes. Nous avons montré, à travers ces techniques, le caractère chaotique de la théorie de Ramsey du point de vue des mathématiques à rebours. Beaucoup de questions subsistent cependant, et l'analyse de la théorie de Ramsey est loin d'être terminée...

## Références

- [1] Peter A. Cholak, Carl G. Jockusch, and Theodore A. Slaman. On the strength of Ramsey's theorem for pairs. *Journal of Symbolic Logic*, 66(01) :1–55, 2001.
- [2] Kurt Gödel. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. *Monatsh. Math. Phys.*, 38(1) :173–198, 1931.
- [3] Denis R. Hirschfeldt. *Slicing the truth*, volume 28 of *Lecture Notes Series. Institute for Mathematical Sciences. National University of Singapore*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Hackensack, NJ, 2015. On the computable and reverse mathematics of combinatorial principles, Edited and with a foreword by Chitai Chong, Qi Feng, Theodore A. Slaman, W. Hugh Woodin and Yue Yang.
- [4] David Seetapun and Theodore A. Slaman. On the strength of Ramsey's theorem. *Notre Dame Journal of Formal Logic*, 36(4) :570–582, 1995.
- [5] S. G. Simpson. Foundations of mathematics : an optimistic message. Available at <http://www.personal.psu.edu/t20/talks/nus1601/talk.pdf>, 01 2016.
- [6] Stephen G. Simpson. Partial realizations of Hilbert's Program. *J. Symbolic Logic*, 53(2) :349–363, 1988.
- [7] Stephen G. Simpson. *Subsystems of Second Order Arithmetic*. Cambridge University Press, 2009.





# La prédiction de valeur comme moyen d'augmenter la performance des processeurs superscalaires

Arthur Perais<sup>1</sup>

---

*Accessit du prix de thèse Gilles Kahn 2016*

*Arthur Perais a soutenu sa thèse<sup>2</sup> en septembre 2015 à Inria Rennes – Bretagne Atlantique, sous la direction d'André Seznec. Après une année en tant qu'ingénieur de recherche au sein de la même équipe (EPI ALF, maintenant PACAP), il a rejoint Qualcomm Datacenter Technologies en janvier 2017.*



Tout programme informatique est écrit avec pour finalité d'être exécuté sur un ordinateur, qu'il s'agisse d'un smartphone ou d'un supercalculateur. Cependant, quelle que soit la classe de processeur considérée, la performance est contrainte par les différentes dépendances inhérentes au programme, c'est-à-dire par le graphe de flot de contrôle ainsi que le graphe de flot de données. En particulier, si grand soit le nombre de transistors gravés dans le silicium, et si élevée soit leur fréquence, deux instructions dépendantes devront toujours être exécutées en séquence, comme exprimé par la sémantique purement séquentielle du langage machine. De plus, bien que certains programmes puissent – indirectement –

1. <http://people.irisa.fr/Arthur.Perais/>

2. *Increasing the performance of superscalar processors through value prediction*, manuscrit consultable à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01282474/>

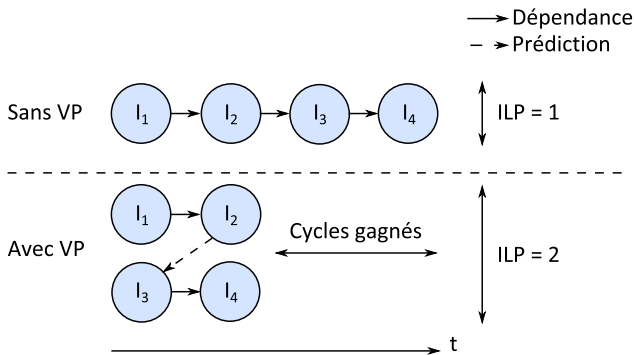


FIGURE 1. Impact de la prédiction de valeurs (VP) sur la chaîne de dépendances séquentielles exprimée par un programme.

outrepasser cette limite de par leur parallélisme, de nombreux programmes restent purement séquentiels. Pour ces programmes, c'est l'augmentation de la performance d'un seul cœur qui réduira le temps d'exécution du programme, et non l'addition de cœurs supplémentaires sur la même puce. Il est donc important pour l'académie comme pour l'industrie de continuer à améliorer la performance séquentielle, même à l'ère des multi- et many-cœurs.

Un moyen d'augmenter la performance séquentielle est de casser les dépendances au niveau du matériel, spéculativement, tout en s'assurant que l'exécution respecte le modèle de programmation séquentiel. Cela permet d'augmenter le nombre d'instructions indépendantes, et donc d'augmenter le nombre d'instructions pouvant être traitées à chaque cycle du processeur.

Un exemple de spéculation, étudié dans cette thèse, consiste à prédire le résultat des instructions lorsqu'elles sont récupérées depuis la mémoire, afin que les instructions suivantes puissent être exécutées plus tôt. Cela revient à casser la dépendance entre deux instructions dans le graphe de flots de données, comme illustré par la Figure 1.

Bien qu'ayant déjà été étudiée en profondeur pendant les années 90 [1, 2, 8], et bien qu'un fort potentiel pour augmenter la performance ait été observé, la prédiction de valeurs (*Value Prediction*, VP) est tombée en désuétude au début des années 2000 car l'industrie comme l'académie considéraient le mécanisme comme trop complexe pour voir le jour dans un processeur.

Cependant, les contributions de cette thèse montrent au contraire qu'implémenter la VP dans un processeur moderne n'est pas rédhibitoire, et qu'elle permet même de réduire la complexité de certaines parties du processeur. En particulier, ces travaux montrent qu'il est possible de déterminer quelles prédictions ont des chances extrêmement fortes d'être correctes. En forçant le processeur à n'utiliser que cette

classe de prédictions, le nombre total de mauvaises prédictions – après lesquelles l'état interne du processeur doit être réparé – devient très faible. De ce fait, il est possible d'implémenter un mécanisme de validation des prédictions (et de réparation des mauvaises prédictions) très simple, qui traite les prédictions dans l'ordre, au retraitement<sup>3</sup> [4].

Puisque les mauvaises prédictions sont très rares, le coût élevé – en terme de performance – d'un tel mécanisme importe peu, pour autant, la performance est améliorée de par la présence de la VP. Précédemment, la VP requerrait un mécanisme complexe de ré-exécution des instructions directement depuis l'ordonnanceur, dans le désordre.

De plus, le fait de prédire les résultats permet de modifier l'ordre d'exécution des instructions, de manière à simplifier un des composants les plus complexes du processeur : le moteur d'exécution dans le désordre (*Out-of-Order*, OoO). En effet, une instruction prédite n'a pas besoin d'être exécutée au plus tôt, puisque son résultat est déjà disponible. Il est donc possible d'exécuter les instructions prédites dans l'ordre au retraitement [3, 6, 7].

Ces instructions n'entrent pas dans le moteur OoO. De même, certaines instructions ont leurs opérandes prédits, ce qui permet de les exécuter juste après qu'elles soient récupérées depuis la mémoire, dans l'ordre. Ces instructions ne sont pas non plus insérées dans le moteur OoO. De ce fait, le nombre d'instructions entrant dans le moteur OoO est grandement réduit, et la capacité dudit moteur peut donc diminuer. En particulier, nous avons pu réduire le nombre d'instructions traitées par le moteur OoO de 6 à 4 par cycle sans réduire la performance. Étant donné que la complexité (nombre de transistors, délai, dissipation thermique) du moteur OoO augmente de manière quadratique avec le nombre d'instructions traitées à chaque cycle, une telle réduction est un argument fort pour l'ajout de la VP dans les processeurs futurs, et ce malgré l'ajout de matériel pour exécuter certaines instructions dans l'ordre.

Finalement, les processeurs modernes sont capables de récupérer plusieurs instructions depuis la mémoire à chaque cycle. Il faut donc fournir plusieurs prédictions de valeurs à chaque cycle, ce qui pose des problèmes au niveau de l'implémentation, en particulier en présence d'un jeu d'instructions à encodage variable tel que x86. Nous avons proposé une organisation en blocs pour le prédicteur de valeurs : chaque entrée du prédicteur contient  $n$  prédictions, qui sont attribuées séquentiellement aux instructions du bloc d'instructions récupéré par le processeur à ce cycle [5]. Cette organisation permet de prédire plusieurs instructions par cycle en effectuant un unique accès au prédicteur, qui peut donc être implémenté avec des mémoires possédant autant de ports d'accès que le cache d'instructions.

---

3. Le retraitement consiste à rendre visible les effets d'une instruction sur l'état de la machine. Il est effectué dans l'ordre par le processeur afin de respecter la sémantique séquentielle du programme.

Réunies, ces trois contributions proposent une implémentation réaliste de la prédiction de valeurs dans un processeur moderne, que j'espère voir un jour implémentée sur une puce. En effet, dans un contexte où la performance séquentielle est critique pour de nombreux algorithmes mais particulièrement difficile à améliorer, un mécanisme à coût matériel raisonnable tel que celui développé dans mes travaux de thèse est attrayant.

## Références

- [1] M.H. Lipasti, C.B. Wilkerson, and J.P. Shen. Value locality and load value prediction. *ASPLOS-VII*, 1996.
- [2] A. Mendelson and F. Gabbay. Speculative execution based on value prediction. Technical Report TR1080, Technion-Israel Institute of Technology, 1997.
- [3] A. Perais and A. Seznec. EOLE : Paving the Way for an Effective Implementation of Value Prediction. In *ACM/IEEE International Symposium on Computer Architecture*, pages 481–492. Minneapolis, US, Jun. 2014.
- [4] A. Perais and A. Seznec. Practical Data Value Speculation for Future High-end Processors. In *IEEE International Symposium on High Performance Computer Architecture*, pages 428–439. Orlando, US, Feb. 2014.
- [5] A. Perais and A. Seznec. BeBoP : A Cost Effective Predictor Infrastructure for Superscalar Value Prediction. In *IEEE International Symposium on High Performance Computer Architecture*, pages 13–25. San Francisco, US, Feb. 2015.
- [6] A. Perais and A. Seznec. EOLE : Toward a Practical Implementation of Value Prediction. In *IEEE Micro's Top Picks*, volume 35, pages 114–124, May 2015.
- [7] A. Perais and A. Seznec. EOLE : Combining Static and Dynamic Scheduling through Value Prediction to Reduce Complexity and Increase Performance. In *ACM Transactions on Computer Systems*, volume 34, pages 4.1–4.33, Apr. 2016.
- [8] Y. Sazeides and J.E. Smith. The predictability of data values. In *Proceedings of the International Symposium on Microarchitecture*, pages 248–258, 1997.



### Prix de thèse Gilles Kahn 2017

Patricia Bouyer-Decitre

---

#### PRIX DE THÈSE GILLES KAHN 2017

patronné par l'Académie des sciences et décerné par la SIF

<http://www.societe-informatique-de-france.fr/recherche/prix-de-these-gilles-kahn/>

Date limite de candidature : **14 septembre 2017.**

Le prix de la Société informatique de France (SIF) a été créé en 1998 pour récompenser chaque année une excellente thèse en Informatique. Gilles Kahn, qui a présidé les trois premiers jurys du prix, était convaincu de l'intérêt de promouvoir les jeunes talents les plus prometteurs de notre discipline. En son honneur, le prix a pris depuis 2007 le nom de Prix de thèse Gilles Kahn et est patronné par l'Académie des sciences qui rend ainsi hommage à un de ses membres éminents. La SIF souhaite par ce prix promouvoir toutes les facettes de l'informatique, des travaux fondamentaux aux travaux appliqués ayant donné lieu à transfert industriel, de ceux réalisés dans les grands centres à ceux réalisés dans des centres plus modestes. L'objectif de ce prix est de dynamiser et de motiver de jeunes chercheurs en les récompensant, et de faire connaître à l'ensemble de la communauté informatique d'excellents travaux de recherche. Un jury d'universitaires et de chercheurs, présidé par Patricia Bouyer-Decitre, sélectionnera parmi les thèses soutenues au cours de l'année universitaire celle qui recevra ce prix. En outre, le jury pourra également distinguer, s'il le souhaite, au plus deux accessits.

La remise officielle du prix se fera début 2018 lors du congrès de la SIF. À cette occasion, le récipiendaire se verra remettre un chèque de 1500 euros et chacun des

autres lauréats éventuels un chèque de 500 euros. Tous seront également invités à présenter leurs travaux à l'ensemble de la communauté scientifique. Sous réserve de remplir les conditions de candidature, les lauréats au prix de thèse Gilles Kahn seront considérés comme candidats à la nomination par Inria pour le prix Cor Baayen de l'ERCIM.

Les critères pris en compte par le jury pour sélectionner les lauréats sont notamment l'originalité des résultats, l'originalité du domaine et des méthodes utilisées, l'importance et l'impact des résultats obtenus, et bien évidemment la qualité de la rédaction puisqu'il s'agit de récompenser non seulement un travail mais surtout une thèse.

En 2016, sous la présidence de Patricia Bouyer-Decitre et avec l'assistance de Pierre Bourhis, secrétaire du prix, le jury était constitué de Stéphane Bessy, Xavier Blanc, Sylvie Boldo, Pierre Bourhis, Patricia Bouyer-Decitre, Gaëlle Calvary, Arnaud Carayol, Jérémie Chalopin, Sylvie Coste-Marquis, Guillaume Charpiat, François Fages, Sébastien Gambs, Frédéric Jurie, Stephan Merz, Marc Mezzarobba, Nicolas Perrin, Florence Sèdes, Laurent Simon, Damien Stehlé, Nicolas Trotignon et Charlotte Truchet. Comme il est d'usage, le jury est partiellement renouvelé chaque année, et totalement renouvelé tous les trois ans.

### ***Calendrier***

- 17 juillet 2017 : ouverture de l'interface web de soumission
- 14 septembre 2017 : date limite de dépôt des candidatures
- début décembre 2017 : notification des résultats aux candidats
- début 2018 : remise officielle du prix lors du congrès de la SIF

### ***Interface web de candidature***

<http://prix-sif.inria.fr/>

### ***Dossier de candidature***

Peut candidater tout-e étudiant-e ayant soutenu son doctorat d'informatique dans une école ou université française entre le 1<sup>er</sup> septembre 2016 et le 31 août 2017. Toute candidature devra être explicitement soutenue par le directeur ou la directrice de thèse ou l'un-e des co-directeurs ou co-directrices. Il n'est pas permis à un-e même encadrant-e de soutenir deux candidats.

Tous les documents doivent être déposés, sous forme de fichiers PDF exclusivement, par le biais de l'interface web. En cas de problèmes à utiliser l'interface, ou pour toute autre question concernant le prix, les candidats sont invités à contacter par courrier électronique le secrétaire du prix, Pierre Bourhis ([pierre.bourhis@univ-lille1.fr](mailto:pierre.bourhis@univ-lille1.fr)).

Chaque dossier doit notamment comprendre :

- la thèse (en PDF),
- les rapports de pré-soutenance des rapporteurs (scannés, en PDF),
- le rapport de soutenance (scanné, en PDF),
- une lettre appuyant la candidature au prix de thèse, directement envoyée par le(s) directeur(s) ou directrice(s) de thèse,
- des rapports complémentaires que le/la candidat-e jugerait utile de fournir au jury, envoyés par les personnes concernées.

Le formulaire en ligne demande également de saisir certaines informations : un résumé de deux pages de la thèse, un CV d'une page maximum ainsi qu'une liste de publications.





## Les clefs pour l'Info : ENS-Agrégation

Lu par Stéphane Gonnord<sup>1</sup>

---

*Les clefs pour l'Info : ENS-Agrégation*, Ismael Belghiti, Roger Mansuy et Jill-Jênn Vie  
Éd. Calvage et Mounet, coll. Im-et-Ker, décembre 2016, 242 pages, ISBN : 2916352651

« Les clefs pour l'Info » se présente comme « un livre d'exercices pour préparer les oraux des Écoles normales supérieures ». Disons-le tout de suite : il est bien plus que cela !

Les trois auteurs – Ismael Belghiti, Roger Mansuy et Jill-Jênn Vie – ont écrit un ouvrage qui trouvera un public bien plus étendu que les simples élèves de classes préparatoires. Les étudiants (de la licence au master) en informatique trouveront des points d'entrée pour aborder de nombreuses notions. Les enseignants (que ce soit en classes préparatoires ou à l'université) trouveront également de nombreux passages pouvant inspirer leurs cours, travaux dirigés, ainsi que des problèmes de devoirs ou examens. Les élèves de classes préparatoires pourront certainement y trouver des idées pour leur TIPE<sup>2</sup> : un simple exercice peut demander un travail d'approfondissement de la notion, d'un algorithme, puis une phase de programmation, un retour sur la théorie et les applications, etc. Enfin, un agrégatif y trouvera sans nul doute source d'inspiration pour des développements lors de sa leçon d'informatique ; il pourra également à moindre frais découvrir des notions non indispensables mais intéressantes qui enrichiront sa culture informatique.

Les exercices sont regroupés en six gros blocs : algorithmique ; arbres et graphes ; réécriture, jeux et stratégies ; combinatoire des mots ; automates ; logique et calculabilité. Pour chacune de ces parties, les auteurs proposent une sélection bien pensée d'exercices avec une correction commentée de façon fine.

---

1. [stephane@gonnord.org](mailto:stephane@gonnord.org)

2. Travaux d'initiative personnelle encadrés.

Sur un thème aussi général que l'algorithmique, difficile de faire des choix ! Le parti pris est de présenter des analyses assez fines de complexité, avec en particulier des preuves de bornes inférieures, alors que les étudiants sont plutôt habitués (et c'est normal) à des analyses asymptotiques « à la hache » permettant d'obtenir des majorants (exemple typique : prouver qu'on ne peut pas déterminer un maximum en strictement moins que  $n - 1$  comparaisons... qui est la complexité de l'algorithme naïf). Les thèmes abordés sur les arbres et graphes sont riches. On y trouvera entre autres une introduction aux problèmes de coloration, cliques et autres couplages... il y a plus d'une dizaine de notions plus ou moins classiques pour lesquelles ce chapitre fournit des portes d'entrée. Ne pas découvrir ces notions le jour de l'oral (ou pourquoi pas de l'écrit) sera vraiment un avantage !

Sur les automates et langages reconnaissables, les exercices sont d'un niveau élevé mais accessible, grâce à des explications et indications claires. Un agrégatif maîtrisant réellement ces exercices serait certainement plus qu'au point pour des leçons sur le sujet ! Le chapitre relativement connexe sur la combinatoire des mots regroupe des exercices assez typiques des ÉNS : ne nécessitant presque aucun matériel, mais vraiment plaisants... si on s'en sort en un temps raisonnable ; ce qui a plus de chance d'arriver si on a musclé son cerveau auparavant avec ce type de problèmes ! On trouvera en particulier de jolis développements autour des mots de Davenport-Schinzel.

Pour un élève admissible aux ÉNS, certains exercices peuvent être extrêmement déroutants, s'il n'y a jamais été confronté : c'est typiquement le cas de ce qui tourne autour de la réécriture ou de la logique « avancée ». Il est donc certainement très profitable d'avoir bien en amont réfléchi à ce type de questions. Sur des exemples concrets (sans être trop réducteurs), le lecteur pourra donc découvrir des notions telles que la terminaison et la confluence : les tas de sable fournissent un exemple à la fois classique et éclairant, puis le lemme de Newman donne un résultat théorique important... sur lequel il n'est pas rare de voir des agrégatifs en difficulté, faute d'une vraie réflexion personnelle sur le sujet. En logique, on trouvera le classique mais délicat théorème de compacité du calcul propositionnel, mais aussi une introduction aux séquents : cette notion nécessite un peu de temps et de réflexion pour être digérée ; y avoir réfléchi assez tôt est certainement un avantage. Ces notions sont illustrées par la preuve de complétude du système LK.

Un étudiant envisageant des études d'informatique trouvera dans cet ouvrage un recueil d'exercices de haut niveau mais bien expliqués, puis avec le temps y reviendra régulièrement pour re-découvrir et mieux comprendre en deuxième lecture des notions survolées au premier passage. Cet ouvrage a une place évidente dans toute bibliothèque de premier ou deuxième cycle.



# Découvrir le numérique, une introduction à l'informatique et aux systèmes de communication

Lu par Olivier Baudon<sup>1</sup>

---

*Découvrir le numérique, une introduction à l'informatique et aux systèmes de communication*

Sous la direction d'André Schiper.

Éd. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2016, 318 pages.

ISBN : 978-2-88915-145-5.

Ce livre, co-écrit par 10 auteurs dont la plupart sont ou ont été enseignants à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), est destiné principalement aux étudiants ingénieurs dans un autre domaine que l'informatique, ainsi qu'aux enseignants du « secondaire supérieur », ce qui correspond en France au lycée (éventuellement Bac+2 compris selon les cantons). Il est composé de trois parties, et propose un total de 12 chapitres.

La première partie, appelée « Calcul » par les auteurs, traite de l'algorithmique. La seconde partie, intitulée « Information », porte sur la représentation et le stockage des données. Enfin, la troisième partie, « Systèmes informatiques » concerne le fonctionnement des ordinateurs, espaces de stockage, réseaux informatiques et la sécurité.

**Partie 1 : Calcul.** Cette partie est constituée de trois chapitres. Le premier chapitre, après une présentation de la notion d'algorithme à partir des exemples de PageRank et EdgeRank, aborde les instructions de base : affectation, tests, boucles, finitude, sûreté, avant d'introduire la notion de complexité et terminer par la machine de Turing.

---

1. LaBRI, université de Bordeaux.

Le second chapitre est consacré aux stratégies de conception des algorithmes : approche descendante, en particulier « diviser pour régner », récursivité, programmation dynamique.

Dans la partie sur la programmation dynamique, on trouvera le passage d'une version récursive du calcul de la suite de Fibonacci<sup>2</sup> et des coefficients binomiaux  $C(n, k)$  à une version itérative, ainsi qu'une présentation de l'algorithme de Floyd sur les plus courts chemins dans un graphe.

Le troisième chapitre traite des limites des algorithmes. Après avoir expliqué qu'il était important que l'exactitude d'un algorithme soit justifiée, les auteurs s'attaquent à la notion d'ensemble dénombrable, montrant en particulier que l'ensemble des fonctions booléennes à un argument entier n'est pas dénombrable. Suit la notion de calculabilité, avec comme exemples de problèmes insolubles la terminaison d'un programme et la détermination de la longueur du plus petit programme générant une chaîne de caractères donnée. Ce chapitre se termine sur la notion de complexité et la définition des classes P et NP. Il montre également l'utilisation de preuves probabilistes d'algorithmes.

**Partie 2 : Information.** Cette seconde partie est constituée de quatre chapitres. Elle porte sur la représentation et le stockage des données. Le premier chapitre est consacré à la représentation de l'information. Après les nombres (entiers, signés, réels), et les symboles (codes ASCII, Unicode), il aborde les images avec le codage RVB et la représentation vectorielle.

Le second chapitre traite de l'échantillonnage et la reconstruction de signaux, pour montrer comment on peut passer de l'analogique au numérique, et inversement, et comment choisir une fréquence d'échantillonnage qui soit un bon compromis entre qualité et taille des données.

Le troisième chapitre concerne la compression de données : notion d'entropie, compression sans perte d'information (Shannon-Fano) et avec perte.

Le quatrième chapitre porte sur la correction d'erreurs, entre autres : utilisation du bit de parité, code de Hamming, borne de Singleton, codes de Reed-Solomon, choix du code en fonction du bruit présent sur le canal de communication.

**Partie 3 : Systèmes informatiques.** Cette troisième partie comporte cinq chapitres. Le premier chapitre explique le fonctionnement d'un ordinateur. Il débute par le passage d'un algorithme à un programme exécutable en présentant en particulier les notions d'assembleur et de code machine, puis le fonctionnement des processeurs et la façon dont ceux-ci sont conçus (circuits).

Le second chapitre est consacré au fonctionnement de la mémoire et des caches.

---

2. On notera deux erreurs regrettables dans les algorithmes consacrés à Fibonacci, mais aisément repérables, en espérant qu'elles seront corrigées dans une future édition.

Le troisième chapitre traite du stockage et de l'accès aux données : fonctionnement des disques, mémoire Flash, organisation des données et métadonnées, système de fichiers.

Le quatrième chapitre porte sur les réseaux informatiques et plus particulièrement Internet. Après la présentation de la notion de protocole et du fonctionnement des routeurs, sont détaillés les protocoles TCP et IP, avec l'utilisation des différentes couches.

Enfin, le cinquième chapitre est consacré à la sécurité : motivation et principes, nature des menaces, moyens de défense. Sont ensuite détaillées différentes méthodes d'authentification et de cryptographie.

Pour finir, une dernière section présente un ensemble de bonnes pratiques sur le choix des mots de passe, la sauvegarde des données...

Ce livre est particulièrement intéressant car il donne une vision assez exhaustive de l'informatique. Il n'hésite pas à aborder des notions complexes, comme par exemple la calculabilité, et ce de façon très pédagogique. Le public visé n'y est sans doute pas étranger, mais même pour de futurs informaticiens, ces présentations peuvent avoir un intérêt pour faciliter leur compréhension. À noter également, la correction d'une partie des exercices est disponible sur le site de l'EPFL.

Mon principal regret concerne la programmation. Son absence est justifiée dans l'introduction. Toutefois, si je comprends la difficulté de traiter de cette question dans un tel ouvrage, avant tout par faute de place, je pense qu'il serait tout de même intéressant d'y consacrer un chapitre, sans forcément traiter des langages de programmation, mais en expliquant les démarches nécessaires à la gestion d'un projet informatique. À l'heure où les méthodes agiles sont de plus en plus utilisées, l'interaction entre les « clients » potentiels que sont les futurs ingénieurs non informaticiens et les équipes de développement va sans doute prendre une place de plus en plus grande.





## Carré magique impossible ?

Jean-Paul Delahaye<sup>1</sup>

---

*La rubrique « Récréation informatique » propose une petite énigme algorithmique ou sur un thème de mathématiques discrètes susceptible d'intéresser un lecteur de 1024. La solution est donnée dans le numéro suivant.*

### Rappel et solution du problème précédent

#### LA DEUX-CENTIÈME DÉCIMALE

Déterminer le 200<sup>e</sup> chiffre décimal après la virgule du nombre  $(1 + \sqrt{2})^{1000}$ . Ce problème doit être résolu de tête, sans ordinateur, sans smartphone, sans papier.

SOLUTION.

Merci à Paul Zimmermann, David Renault, Eric Angel, Jean-Marc Delosme et Jean-Christophe Janodet pour leurs solutions.

$(1 + \sqrt{2})^{1000} + (1 - \sqrt{2})^{1000}$  est un entier, car quand on développe, tous les termes comportant  $\sqrt{2}$  s'annulent comme cela se passe pour :

$$(1 + \sqrt{2})^2 + (1 - \sqrt{2})^2 = 1 + 2\sqrt{2} + 2 + 1 - 2\sqrt{2} + 2 = 6.$$

---

1. Université de Lille 1, Sciences et Technologies, Centre de recherche en informatique signal et automatique de Lille (CRISAL), UMR 9189 CNRS, Bât M3-ext, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex.  
E-mail : jean-paul.delahaye@univ-lille1.fr.

Or,  $(1 - \sqrt{2})^{1000}$  est très petit puisque c'est un nombre inférieur à  $1/2$  élevé à la puissance 1000. Précisément, en utilisant que  $2^{10} = 1024$  (Tiens, tiens... (N.D.E.)), on voit qu'il est inférieur à :

$$\frac{1}{2^{1000}} = \frac{1}{1024^{100}} < \frac{1}{(10^3)^{100}} = \frac{1}{10^{300}}.$$

Le nombre de l'énoncé est donc la différence entre un entier et un nombre plus petit que 0,000...0001 avec 300 zéros. Tous ses chiffres entre la virgule et le 300<sup>e</sup> chiffre après la virgule sont donc des '9'.

Ce problème provient d'une rubrique de problèmes de Elwyn Berlekamp et Joe Buhler parue dans le numéro d'automne 1999 du journal *Emissary* qui est le journal du MRS (*Mathematical Research Institute*) de Berkeley aux États-Unis.

## Nouveau problème

### CARRÉ MAGIQUE IMPOSSIBLE ?

Dans le dessin de ce célèbre carré magique, chaque alignement de trois pastilles contenant des nombres donne un total de 15. Il y a huit alignements possibles : trois horizontaux, trois verticaux, et deux diagonaux. L'énigme paradoxale inventée par Lee Sallows est la suivante : repositionner les pastilles, en plaçant toujours une pastille dans chaque case du tableau  $3 \times 3$ , de manière à ce qu'il y ait toujours huit alignements de trois pastilles, chacun donnant un total que cette fois on veut égal à 16.

⑧	①	⑥
③	⑤	⑦
④	⑨	②

La chose paraît impossible, puisqu'il semble que si c'est faisable avec une somme de 15, on ne peut certainement pas le faire avec une somme plus grande. Il y a pourtant une solution... et même plusieurs. Il n'y a aucune entourloupe, mais il faut remarquer qu'on ne dit pas que les pastilles doivent se trouver au centre de chaque case.

*Envoyez vos réponses à [jean-paul.delahaye@univ-lille1.fr](mailto:jean-paul.delahaye@univ-lille1.fr). Le nom des premiers lecteurs à me donner la bonne réponse (et à la justifier) seront mentionnés dans le prochain numéro de 1024.*





**1024**  
**B U L L E T I N**  
de la société informatique  
de France



Institut Henri Poincaré,  
11 rue Pierre et Marie Curie,  
75231 Paris Cedex