

numéro

17

# 1024

B U L L E T I N

de la société informatique  
de France

Avril

2021

## COMITÉ DE RÉDACTION

SYLVIE ALAYRANGUES  
*Université de Poitiers*

OLIVIER BAUDON  
*Université de Bordeaux*

YVES BERTRAND  
*Université de Poitiers*

JEAN-PAUL DELAHAYE  
*Université de Lille*

THOMAS FERNIQUE  
*CNRS, Université Paris 13*

PHILIPPE MARQUET  
*Université de Lille*

ARNAUD MARTIN  
*Université de Rennes*

EUNIKA MERCIER-LAURENT  
*Université de Lyon*

PATRICE NAUDIN  
*Université de Poitiers*

PIERRE PARADINAS  
*CNAM Paris*

NICOLAS PASSAT  
*Université de Reims  
Champagne-Ardenne*

NATHALIE REVOL  
*Inria, Université de Lyon*

MICHEL RAYNAL  
*Université de Rennes*

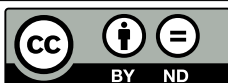
NANCY RODRIGUEZ  
*Université de Montpellier*

FLORENCE SÈDES  
*Université de Toulouse*

BENJAMIN THIERRY  
*Sorbonne Université*

DENIS PALLEZ, *Université Côte d'Azur, 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 : Yves Bertrand

ISSN : 2270-1419

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

# SOMMAIRE DU N° 17



Éditorial .....	3
<b>SIF</b>	
« Que faire avec un doctorat en informatique ? Valorisation des compétences acquises pendant le doctorat pour une multiplicité de carrières », <i>Élisabeth Murisasco, Denis Pallez</i> .....	5
Pandématique : lorsque pandémie et informatique se rencontrent, <i>Sara Bouchenak</i> .....	19
<b>DOSSIER « NUMÉRIQUE ET SCIENCES INFORMATIQUES »</b>	
Présentation du dossier spécial, <i>Sylvie Alayrangues</i> .....	23
Entretien avec Jean-Marie Chesneaux, <i>Sylvie Alayrangues, Christine Froidevaux, Denis Pallez</i> .....	25
Concours CAPES Numérique et sciences informatiques, <i>I. Guérin Lassous, M. Dufлот-Kremer, F. Tarissan</i> .....	29
Entretien avec Charles Poulmaire, <i>Sylvie Alayrangues, Christine Froidevaux, Denis Pallez</i> ..	43
Entretien avec deux lycéennes de Haute-Savoie, <i>David Roche</i> .....	53
Réforme des CPGE scientifiques MPI-MP-PSI-PC-PT et évolution de l'enseignement d'informatique, <i>Marc de Falco, Yann Salmon</i> .....	57
<b>DU CÔTÉ DES ASSOCIATIONS</b>	
EGC .....	71
EPI .....	73
IFIP .....	75
MMI .....	78
<b>DU CÔTÉ DES LABORATOIRES</b>	
Rapport de conjoncture, <i>Section 6 du Comité national de la recherche scientifique</i> .....	79
<b>ENTRETIENS</b>	
Entretien avec Anne-Cécile Orgerie, médaille de bronze du CNRS, <i>Olivier Baudon, Francine Krief</i> .....	99
Entretien avec Christophe Genoloni, société Zébrys, <i>Christel Dartigues-Pallez</i> .....	109
<b>ENSEIGNEMENT</b>	
La Nuit de l'info pendant une pandémie... <i>Le bureau de la Nuit de l'info</i> .....	113

**FEMMES ET INFORMATIQUE**

Comment les femmes de la cybersécurité se montrent « sans sweat à capuche » ? <i>Florence Sèdes</i>	115
Visibilité des femmes scientifiques dans les médias, discours d'inauguration de la journée Sciences et médias, <i>Audrey Mikaëlian</i>	117

**HOMMAGE**

Hommage à Alice Recoque, <i>Florence Sèdes et Marie-Claude Gaudel</i>	119
Hommage à Dieter Kratsch, <i>Mathieu Liedloff et Michaël Rao</i>	123

**MA THÈSE EN 1024 CARACTÈRES**

Estimation de posture 3D à partir de données imprécises et incomplètes : application à l'analyse d'activité d'opérateurs humains dans un centre de tri, <i>Thibault Blanc-Beyne</i>	127
Assistant de décision et de négociation par analyse de viabilité - Application à la gestion participative d'espaces protégés, <i>Laetitia Zaleski</i>	128

**PRIX ET DISTINCTIONS**

Bilan du prix de thèse Gilles Kahn 2020, <i>Clémentine Maurice et Charlotte Truchet</i>	129
Cryptographie fondée sur les codes : nouvelles approches pour construction et preuves ; contribution en cryptanalyse, <i>Thomas Debris-Alazard</i>	131
ZX-Calculs pour l'informatique quantique, et leur complétude, <i>Renaud Vilmart</i>	141
Prix de thèse Gilles Kahn 2021, <i>Clémentine Maurice et Charlotte Truchet</i>	147

**RÉCRÉATION**

Les pièces magnétiques, <i>Jean-Paul Delahaye</i>	151
---	-----

**SCIENCE**

Réflexions sur la diffusion des connaissances à travers les grands colloques internationaux, les revues scientifiques, et la communication libre et rapide entre chercheurs et innovateurs dans un contexte de réduction de l'empreinte climatique, <i>Groupe Diffusion de la science de l'Académie royale de Belgique</i>	155
Le Chapitre français d'Eurographics et ses <i>Fellows</i> , <i>Loïc Barthe, Julie Digne, Eric Galin, Eric Guérin, Nicolas Mellado</i>	167

---



# Éditorial

---

Chères adhérentes, chers adhérents,

En ces temps difficiles, la Société informatique de France est heureuse de vous présenter un nouveau numéro de son bulletin semestriel qui, grâce au travail sans relâche de son comité de rédaction, est encore une fois bien fourni.

Cela va maintenant faire presque un an que la crise sanitaire a bousculé nos vies et cela se ressent dans les événements organisés par notre communauté comme la journée des doctorants, la journée « pandémie », ou la Nuit de l'info 2020. Les organisateurs de ces événements ont doublé leurs efforts pour les maintenir et votre engouement n'a pas démerité. Vous pouvez revivre les journées de la SIF en les visualisant sur notre chaîne vidéo <sup>1</sup>.

Comme vous le savez tous, l'enseignement de l'informatique est en pleine effervescence actuellement et nous vous proposons, dans ce numéro, plusieurs articles sur le thème « Numérique et sciences informatiques » : un entretien de l'inspecteur général de l'éducation, qui confirme la volonté de créer l'agrégation d'informatique ; un autre entretien qui explique comment la spécialité est enseignée dans les Yvelines ; une interview de deux lycéennes qui tente d'élucider le mystère d'une classe d'informatique suivie par 40 % de filles. Nous avons ensuite une présentation du nouveau CAPES NSI et une analyse poussée des copies d'examens de la session 2020. Le dernier article montre comment l'introduction de NSI bouscule les enseignements en classes préparatoires. Nous aurions aimé avoir le même point de vue de la part

---

1. <https://vimeo.com/socinfofr/collections>.

des IUT et connaître l'impact de cette réforme sur le programme du *Bachelor* universitaire de technologie (BUT) mais le programme est encore en cours d'élaboration pour une rentrée prévue en septembre 2021.

Croisons les doigts pour que l'anniversaire des 10 ans de la SIF en 2022 coïncide avec l'annonce de la création de l'agrégation d'informatique ; scellant ainsi l'ancrage de notre spécialité au sein de l'Éducation nationale.

Nous retrouvons, ensuite, les rubriques habituelles avec le prix de thèse Gilles Kahn, Ma thèse en 1024 caractères, Femmes et informatique incluant un article d'une journaliste scientifique... les nouvelles des associations partenaires de la SIF mais, une fois n'est pas coutume, nous y avons aussi intégré des informations provenant de l'association IFIP à laquelle notre société savante est adhérente ; la rubrique que nous souhaiterions remplir le moins possible est celle où nous rendons hommage à nos collègues disparus, et pour terminer, je tiens à saluer la rubrique qui n'a jamais failli en 17 numéros, celle qui nous distrait algorithmiquement, la rubrique Récréation.

Il est temps maintenant de vous laisser profiter de ce dernier numéro de 1024 et de vous souhaiter une très agréable lecture. Les articles de 1024 sont rédigés par celles et ceux qui ont saisi l'opportunité de diffuser leur message, qu'il soit scientifique ou non, à toute la communauté. Alors, n'hésitez pas à nous faire parvenir vos textes, dans le format qu'il vous plaira, avant début septembre pour une publication dans le numéro de novembre 2021.

DENIS PALLEZ

*Rédacteur en chef*

*1024@societe-informatique-de-france.fr*



# « Que faire avec un doctorat en informatique ? Valorisation des compétences acquises pendant le doctorat pour une multiplicité de carrières »

Compte rendu de la journée<sup>1</sup> (E. Muriasco, D. Pallez)

---

## Introduction

La Société informatique de France et SPECIF-Campus ont organisé une journée thématique le 2 décembre 2020 dans le but de présenter aux jeunes chercheuses et chercheurs comment identifier et valoriser les compétences acquises pendant un doctorat en informatique. Tout au long de la journée, de nombreux témoignages d'horizons divers et variés ont permis d'appuyer les présentations de l'Association Bernard Grégory<sup>2</sup> (ABG) et de l'Association pour l'emploi des cadres<sup>3</sup> (APEC).

Cette journée, qui a rencontré un vif succès en rassemblant plus de 40 sites géographiques différents et environ 550 personnes toutes réunies en distanciel, s'est déroulée dans le contexte très particulier du deuxième confinement de la pandémie de COVID-19. Ce confinement national aura eu le mérite de nous familiariser à l'usage

---

1. La journée a été co-organisée et co-gérée par Catherine Berrut, Luc Bougé, Élisabeth Muriasco, Denis Pallez, Pierre Paradinas, Florence Sèdes, Jill-Jënn Vie pour le compte de la SIF et Nicolas Passat pour le compte de SPECIF-Campus, <https://www.societe-informatique-de-france.fr/les-journees-sif/journee-des-doctorants-2020>.

2. <https://www.abg.asso.fr/fr>.

3. <https://www.apec.fr>.



FIGURE 1. Copie d'écran du logiciel Zoom utilisé lors de la journée.

des outils de visio-conférences. Ce contexte d'organisation distanciel nous aura également permis de quasiment doubler le nombre de sites et de participants de la première édition qui s'était déroulée le 6 décembre 2018<sup>4</sup>. Grâce à une nouvelle thématique focalisée sur les compétences des docteurs et au caractère décentralisé de l'organisation de la journée, nous avons battu tous les records d'affluence de manifestations organisées par la SIF et même atteint le nombre maximum de participants autorisés dans les logiciels utilisés.

## La journée des doctorants du 2 décembre 2020

Les interventions de la journée sont résumées ci-dessous et disponibles à cette adresse<sup>1</sup> :

- Présentation de la journée, P. Paradinas (président de la SIF)
- **Session 1 : Les compétences d'une docteure et d'un docteur**
  - La valorisation des compétences des docteurs et docteurs : identifier ses compétences transversales pour se valoriser / se démarquer sur un CV ou en entretien, M.-S. Soubrouillard (consultante développement professionnel, APEC Toulon)

4. Voir bulletin 1024, numéro 13, Avril 2019, pp. 9–20, [https://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2019/04/1024-numero-13\\_Article4.pdf](https://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2019/04/1024-numero-13_Article4.pdf).

- Valoriser ses compétences professionnelles de recherche, C. Thomas (responsable formation et accompagnement, Association Bernard Grégory)
- **Session 2 : Carrières dans l'industrie**
  - R&D, un point pour passer de la recherche académique à la recherche industrielle, J. Rivalan (responsable R&D, société Alterway)
  - Quelle place pour un jeune docteur dans une ESN, D. Olivier (directeur R&D, société Davidson Consulting)
  - Témoignages de docteurs et docteuses
    - D. Codreanu, *Senior Data Scientist* PwC
    - V. Martin, *Data Scientist*, Naval Group
    - C. Servan, *Research Manager* chez Qwant
- **Session 3 : Carrières académiques**
  - Le métier d'enseignante-chercheuse et d'enseignant-chercheur, L. Seinturier (président du CNU 27<sup>e</sup> section);
  - Être chercheuse ou chercheur au CNRS, J. Troccaz (ancien membre de la section 7 du comité de sélection du CNRS);
  - Être chercheuse ou chercheur au sein d'une équipe-projet Inria, C. Morin (DR Inria Rennes).
- **Session 4 : Les concours d'ingénieur de recherche**
  - Évolutivité et diversité des missions d'ingénieur de recherche au sein d'une université, C. Lenne (IR ITRF)
  - De l'industrie vers la recherche, un retour d'expérience, F. Michel (IR CNRS)
  - Entre enseignement et recherche appliquée, C. Roussey (CR INRAE)
- **Session 5 : Éducation nationale**
  - Enseigner l'informatique au lycée, I. Guérin-Lassous (présidente du jury du CAPES NSI)
  - Témoignage d'un PRAG en école d'ingénieur, S. Viardot (PRAG, Ensimag)

## **Session 1 : compétences d'une docteure ou d'un docteur**

M.-S. Soubrouillard, APEC : « *En tant que consultante développement professionnel pour l'APEC, ma mission est d'accompagner les cadres et futurs cadres dans leur problématique professionnelle, et notamment les jeunes docteurs avec les problématiques suivantes : comment identifier les offres destinées aux docteurs dans le secteur privé ; comment travailler un CV pour concurrencer les ingénieurs ; comment donner de l'appétence aux entreprises privées pour un profil de docteur ; comment valoriser les compétences transverses et transférables. Les conseils que je peux donner sont les suivants. Il faut démarrer et préparer sa recherche d'emploi avec dans le viseur*

plusieurs cibles et notamment le secteur privé. Le docteur possède, dans ses bagages, l'un des plus hauts diplômes de l'enseignement supérieur. Et pourtant, il va devoir apprendre à le valoriser, en en parlant, en présentant le déroulé d'un parcours doctoral, en traduisant ses compétences dans un langage que le secteur privé comprend. La clé de la valorisation des compétences d'un docteur réside dans sa capacité à identifier les compétences utiles et pertinentes en lien avec un besoin du marché. Pour cela, il va devoir faire un travail de fond sur l'identification des compétences, en s'arrêtant sur la définition même de compétence : les savoirs (connaissances), les savoir-faire (pratique), les savoir-être : aptitudes personnelles et interpersonnelles, cognitives, les compétences transverses et transférables. Le docteur doit mener un travail de fond en plusieurs étapes : le bilan (qui je suis), le projet (ce que je veux), le marché (ce que je peux).

A l'issu de ce travail préparatoire, il sera en mesure de passer à l'action et de réaliser un CV ou une candidature efficace ; les compétences seront valorisées parce qu'elles seront mises au service du besoin d'une entreprise ou d'un projet. »

C. Thomas, ABG : « De plus en plus de docteurs de toutes disciplines s'orientent vers le secteur privé qui représente désormais la majorité des débouchés de la formation doctorale. Pour réussir cette transition, il est crucial que les docteurs valorisent, de manière adaptée, leur expérience de recherche et leurs compétences aussi bien scientifiques et techniques que transverses. Fondée en 1980, l'Association Bernard Gregory (ABG) œuvre pour l'évolution professionnelle des docteurs, la capacité d'innovation des entreprises et la valorisation des compétences issues de la formation par la recherche. Elle a notamment créé, en collaboration avec la CPU et le Medef, le référentiel de compétences des docteurs DocPro<sup>5</sup>, disponible en libre accès. DocPro permet aux docteurs de faire émerger les compétences qu'ils ont développées et de communiquer efficacement en direction des entreprises. Il leur permet en particulier d'illustrer l'acquisition de leurs compétences par des expériences vécues. L'outil les guide pas à pas pour :

- identifier leurs compétences ;
- situer leur progression en fonction des trois phases proposées ;
- illustrer chacune de leurs compétences par une expérience vécue qui montre concrètement comment ils les ont acquises ;
- publier leur profil sur DocPro et le partager.

»

## Session 2 : carrières dans l'industrie

J. Rivalan, société Alter Way : « La société Alter Way, qui accueille des thésards CIFRE ainsi que de jeunes docteurs, était représentée par Jonathan Rivalan, son

5. <http://www.mydocpro.org>.

responsable de R&D. Il a partagé son expérience sur deux points : d'abord l'intérêt pour les étudiants à poursuivre un cursus académique tout en se professionnalisant à travers les programmes CIFRE, puis l'intérêt pour les jeunes diplômés à construire leur rôle au sein d'organisations. Dans le monde industriel, le découpage des tâches et des rôles est différent de l'univers académique ; par son expérience à adresser de nombreux sujets et sous-sujets sur le long terme en respectant des échéances, le jeune docteur peut intervenir à différents niveaux de l'organisation, directement en adressant l'opérationnel qui lui est confié ainsi qu'à plus haut niveau en devenant force de proposition sur les sujets techniques et l'organisation des projets. Chez Alter Way, et plus particulièrement en R&D, un effort est réalisé pour offrir cette autonomie technique et scientifique opérationnelle, tout en ouvrant un espace de discussion transverse entre les ingénieurs, et au possible les équipes. Lauréat d'un programme ANR démarrant au premier trimestre 2021, et avec plusieurs projets en cours de publication, Alter Way propose un contexte de recherche et développement orienté vers l'orchestration autonome des systèmes d'hypervision, supportée par des techniques d'apprentissage automatique. »

D. Olivier, société Davidson Consulting : « Cette intervention aborde différentes questions : quelles opportunités et carrières ? Quels sont les atouts supplémentaires d'un docteur ? Comment vaincre les préjugés potentiels sur la capacité d'un docteur à réussir dans l'industrie ? Comment être un ambassadeur du monde académique dans un monde industriel ? »

V. Martin, société Naval Group : « Je m'appelle Vincent Martin, je suis docteur en informatique et j'occupe actuellement le poste de data scientist au sein de l'entreprise Naval Group<sup>6</sup>, spécialisée dans la construction navale de défense.

Mon parcours en quelques mots : après un master en informatique obtenu en 2012, je me suis lancé dans une thèse sous financement CIFRE sur le thème de la recherche d'information. J'ai obtenu ma thèse en 2016 puis j'ai intégré Naval Group la même année.

Mes conseils pour bien s'insérer dans l'industrie :

- avant l'embauche, il est important de s'intéresser au monde industriel et de déterminer en quoi notre bagage recherche apportera un plus à l'entreprise. L'erreur serait de chercher à caser à tout prix sa recherche sans réelle finalité ;
- pendant l'entretien, expliquer de manière simple ce que l'on a fait en thèse, en insistant sur les problématiques adressées et la méthodologie suivie. Il s'agit de rendre accessible un travail difficile ; c'est aussi pour cela que l'on est embauché. Un bon entraînement consiste à présenter ses travaux en cinq minutes sous la forme d'un pitch ;

---

6. Une vidéo présentant le métier de data scientist dans la société : [https://youtu.be/FZcD\\_7a8IEs](https://youtu.be/FZcD_7a8IEs).

— au travail, garder son esprit scientifique et critique et choisir ses combats pour se positionner là où l'on peut exprimer pleinement ses compétences les plus utiles à la valorisation du travail commun d'entreprise ;

— enfin, rester humble. Le jeune docteur n'est ni meilleur, ni moins bon qu'un autre. Nous faisons partie d'une équipe en apportant une compétence particulière.

»

### Session 3 : carrières académiques

L. Seinturier, président du CNU 27<sup>e</sup> section : « Cette intervention présente les grandes lignes des missions du métier d'enseignante-chercheuse et d'enseignant-chercheur, du processus de qualification et de recrutement. Comme son nom l'indique, ce métier, qui s'exerce dans des établissements d'enseignement supérieur, universités ou écoles, en France ou à l'étranger, comprend, pour une moitié de son temps de travail, des fonctions de recherche et, pour l'autre moitié, des fonctions d'enseignement. Pour les jeunes recrutées et recrutés en France, la soutenance d'une habilitation à diriger des recherches est un horizon fréquent après quelques années d'exercice du métier. La procédure de recrutement pour les établissements qui relèvent du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation se fait en deux temps, avec une étape nationale de qualification auprès de la section informatique<sup>7</sup> du Conseil national des universités à l'automne, et une étape locale de dépôt de dossiers suivi éventuellement d'une audition auprès de chaque établissement au printemps. Au delà de la procédure officielle de candidature, il est important de se faire connaître en amont auprès des laboratoires et départements dans lesquels vous candidatez. »

J. Troccaz, ancien membre de la section 7 du comité de sélection du CNRS : « Le CNRS est un organisme de recherche pluridisciplinaire (dix instituts thématiques) et il existe de multiples façons d'y faire de la recherche selon la ou les disciplines auxquelles on se rattache, y compris au sein même de l'informatique. Malgré cela, le processus de recrutement est le même pour tous les candidates et candidats de ces disciplines. En introduction, je présente à grands traits mon parcours au CNRS. Sans être exemplaire, il est certainement représentatif des possibilités qu'offre le CNRS aux chercheuses et chercheurs qui y travaillent. Je décris également le rôle du comité national et le processus de recrutement ainsi que les prérequis. La candidature nécessite la présentation d'un dossier incluant « titres et travaux » et le très important « projet de recherche » (programme à court, moyen et long termes). J'insiste sur la nécessité d'élaborer ce projet de recherche en étroite concertation avec

7. <https://cnu27.univ-lille.fr>.

*les laboratoires où l'on souhaite être recruté. Les pages internet du concours chercheur du CNRS<sup>8</sup>, du comité national<sup>9</sup> et des sections 6 et 7<sup>10</sup> de l'INS2I (Institut des sciences de l'information et de leurs interactions) regorgent d'informations très utiles pour la préparation des candidatures. »*

C. Morin, DR Inria Rennes : « *La recherche chez Inria, l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique<sup>11</sup>, est menée au sein d'équipes-projets qui sont situées dans huit centres de recherche en France et pour la plupart communes avec des universités. Inria offre de nombreuses opportunités<sup>12</sup> aux jeunes docteurs en mathématiques appliquées et informatique qui souhaitent devenir chercheur ou chercheuse ou se tourner vers une carrière d'ingénieur au service de la recherche et de l'innovation. Les ingénieurs chez Inria peuvent contribuer à des plateformes de recherche ou du développement technologique et logiciel au sein d'une équipe-projet ou s'investir dans le transfert technologique pour un projet de startup en incubation au sein d'Inria Startup studio<sup>13</sup>. Le recrutement de chercheurs sur poste de chargé ou chargée de recherche de classe normale (CRCN, statut fonctionnaire) ou Inria Starting Faculty Position (ISFP, statut CDI de la fonction publique) se fait lors d'une campagne annuelle avec un jury d'admissibilité commun pour les deux types de postes organisés dans chacun des centres. Il est indispensable de prendre contact avec les responsables des équipes-projets visées bien avant l'ouverture de la campagne de recrutement. Le dossier de candidature doit être rédigé en se conformant au canevas proposé et en suivant les conseils du guide fourni aux candidates et candidats. Toutes les fiches de poste pour des contrats à durée déterminée de post-doctorat ou d'ingénieur sont publiées au fil de l'eau<sup>14</sup> pour des recrutements tout au long de l'année. »*

## **Session 4 : les concours d'ingénieur de recherche**

C. Lenne, IR ITRF : « *Après un doctorat en informatique, ma carrière professionnelle a débuté par 10 ans de pratique dans l'industrie en recherche appliquée. A l'issue d'un an passé à Inria en tant qu'ingénieur expert, j'ai tenté le concours d'ingénieur de recherche (IR) et j'ai rejoint l'université de Grenoble. C'est alors qu'a commencé une carrière universitaire passionnante comme responsable du département réseau dans un centre inter-universitaire, puis architecte infrastructure*

8. <http://www.dgdr.cnrs.fr/drhchercheurs/concoursch/informer/default-fr.htm>.

9. <https://www.cnrs.fr/comitenational/evaluation/CritEval.htm>.

10. <https://section7.cnrs.fr/concours.html>.

11. Inria et son écosystème : <https://inria.fr/fr/innovation-numerique-ecosysteme>.

12. Recrutement chez Inria : <https://www.inria.fr/fr/emploi-recherche-innovation-numerique>.

13. <https://www.inria.fr/fr/inria-startup-studio>.

14. <https://jobs.inria.fr>.

*et logiciels et enfin responsable du département d'informatique de gestion. J'ai ensuite rejoint la Direction des systèmes d'information (DSI) de l'université Joseph Fourier et en ai pris la direction après quelques mois. Au moment de la fusion des établissements universitaires grenoblois, j'ai saisi l'occasion pour me rapprocher des laboratoires de recherche en participant à la mise en place d'une nouvelle unité mixte de recherche (UMR) en tant que directeur du pôle données massives. Enfin, après quatre ans au sein de cette structure, j'ai rejoint le CIC-IT de Grenoble pour développer l'entrepôt de données de santé PREDIMED. »*

F. Michel, IR CNRS : « *Bien que cette journée soit consacrée à ce qu'on peut faire après un doctorat, cette présentation est un retour d'expérience décrivant le parcours inverse d'un ingénieur ayant travaillé dans l'industrie puis ayant bifurqué vers la recherche. Après 14 ans dans l'industrie des télécommunications, Franck a rejoint la recherche en deux temps : d'abord par le biais d'un CDD de deux ans sur un projet de recherche, puis en tant qu'ingénieur de recherche permanent. Dans ce nouveau poste, il a d'abord exercé des activités de support à des communautés de chercheur, puis a progressivement orienté son activité vers la recherche jusqu'à soutenir une thèse de doctorat. La double culture industrie-recherche lui a permis d'aborder des questions de recherche sous un angle pragmatique (ce qui peut être un avantage dans une recherche appliquée mais pas nécessairement dans une recherche plus théorique). De plus, alors qu'un doctorant doit habituellement acquérir simultanément des compétences scientifiques, techniques, organisationnelles et managériales, le fait d'avoir eu une vie professionnelle avant la thèse permet de se concentrer sur la partie scientifique, éliminant ainsi un certain nombre de difficultés. »*

C. Roussey, CR INRAE : « *Mon intervention intitulée « Entre enseignement et recherche appliquée » présente mon parcours professionnel. Après un diplôme d'ingénieur en mathématiques appliquées et une thèse en informatique, j'ai été pendant dix ans enseignante chercheuse dans un IUT informatique. J'ai ensuite passé une année à l'étranger dans un laboratoire de renommée internationale pour me former aux technologies du Web sémantique. Suite à cette nouvelle compétence, le Cemagref m'a contactée pour venir travailler sur les ontologies dans le domaine agricole. Dix ans plus tard, à la faveur des différentes évolutions des instituts de recherche, je suis maintenant chercheuse à INRAE, l'un des dix plus grands instituts de recherche dans le domaine agricole. Je détaille les étapes de mon parcours professionnel pour indiquer les compétences attendues de chacun de ces postes. La thèse m'a permis de développer une autonomie en apprentissage. Normalement, un docteur a appris à apprendre et peut donc s'autoformer. Le métier d'enseignant-chercheur m'a permis de développer des compétences en communication et à gérer plusieurs tâches en parallèle. Le métier de chercheur dans un institut de recherche appliquée me permet de concilier deux mondes informatique et agronomique. Une compétence de recherche*

*ne se limite pas à trouver une « bonne » idée mais à trouver une idée à conceptualiser qui pourra être évaluée par une expérimentation scientifique. Chaque étape de mon parcours m'a permis d'expérimenter les transferts de savoirs sous différentes formes et pour différents objectifs. »*

## Session 5 : Éducation nationale

I. Guérin Lassous, présidente du jury du CAPES NSI : *« Cette intervention a présenté le nouveau CAPES Numérique et sciences informatiques (NSI) qui a été mis en place en 2020. Ce concours a pour objectif de recruter des enseignants en informatique pour enseigner au lycée les cours de Sciences numériques et technologie (SNT) en seconde et les cours de NSI en première et terminale. SNT et NSI ont été créées dans le cadre de la réforme du baccalauréat et du lycée d'enseignement général et technologique. SNT a pour objectif de faire découvrir les grands principes et les principaux enjeux sociétaux de l'informatique tandis que NSI, qui est un enseignement de spécialité, vise l'appropriation des fondements de l'informatique. Le concours du CAPES NSI se compose de deux épreuves d'admissibilité et deux épreuves d'admission. Les épreuves d'admissibilité sont des épreuves écrites de 5h chacune. La première épreuve d'admissibilité consiste en la résolution de problèmes permettant de tester les connaissances des candidats et candidates sur le domaine. La deuxième épreuve d'admissibilité consiste en la production d'activités d'enseignement. Les épreuves d'admission sont des épreuves orales d'une heure chacune (sans compter le temps de préparation). La première épreuve d'admission est une mise en situation professionnelle (impliquant le développement d'une leçon) tandis que la deuxième épreuve porte sur un dossier pédagogique préparé, dans l'année, par chaque candidate et candidat. De nombreuses informations sur ce CAPES se trouvent sur les sites internet<sup>15, 16</sup>. »*

S. Viardot, PRAG Ensimag : *« Cette intervention a permis à Sébastien Viardot de faire part de son expérience en tant qu'enseignant permanent. À travers son témoignage, ont été abordés les missions principales (384h de cours équivalent à assurer sur une année universitaire tant en cours magistral, TD, TP et projets avec les tâches associées : conception des contenus pédagogiques, examens...) et quelques exemples de responsabilités que peut prendre un professeur agrégé dans l'enseignement supérieur (responsable de cours, d'équipe pédagogique, direction des études, chargé de mission « TICE », responsable de filière, vice-président des Systèmes d'information d'établissement). »*

---

15. <https://www.devenirenseignant.gouv.fr/cid137910/creation-capes-numerique-sciences-informatiques.html>.

16. <https://capes-nsi.org>.

## Organisation

La journée s'est déroulée simultanément sur 43 sites géographiques différents. À chaque site était associée une personne référente qui avait en charge d'organiser la journée localement : réunir les étudiants au doctorat en informatique dans une salle, interagir avec la ou les écoles doctorales du site afin de valoriser dans leur formation doctorale la participation des étudiants à la journée sous forme d'heures ou de crédits ECTS, diffuser l'information localement auprès des responsables de masters et de laboratoires, organiser si possible le repas de midi pour plus d'interactions sociales... La charge des référents s'est vue rapidement simplifiée compte-tenu de la décision de proposer la journée intégralement en distanciel à cause de la crise sanitaire. La SIF remercie vivement les nombreuses personnes qui se sont impliquées et qui ont fait que cette journée s'est déroulée sans encombres et a été appréciée.

Techniquement, les sites ont tous été inter-connectés via la plateforme Zoom de l'université Grenoble-Alpes<sup>17</sup> qui disposait d'une licence pour 500 participants maximum. Le choix de cet outil a été motivé par les nombreux tests réalisés par notre communauté lors du confinement total du 17 mars au 11 mai 2020 qui a montré que Zoom était l'une des meilleures solutions pour un grand nombre de participants. Beaucoup d'universités françaises ont d'ailleurs rapidement acheté cette licence pour répondre aux besoins d'enseignements à distance.

Grâce à l'intérêt de nos jeunes docteurs pour cette journée, nous avons rapidement dépassé cette limite et atteint environ 550 participants. Nous avons alors réagi en diffusant avec quelques secondes de décalage le flux vidéo de la journée sur la plateforme Vimeo<sup>18</sup>.

Vu le grand nombre de participants (tous à distance), nous avons privilégié la plateforme SpeakUp<sup>19</sup> pour poser les questions afin de donner la parole à un maximum de personnes. Nous avons fait le choix de regrouper les questions à la fin de chaque session. Le clavardage (*chat*), disponible dans la majorité des outils de visio-conférences, a plutôt été réservé pour diffuser des informations complémentaires ou des réactions immédiates aux présentations, des résolutions de problèmes techniques... L'intérêt majeur de SpeakUp est de pouvoir voter et commenter les questions posées par les participants, permettant ainsi de dynamiser leur participation à la journée. Il permet ainsi à l'animateur de la session de choisir les questions les plus pertinentes et intéressantes pour l'auditoire. Néanmoins, comme SpeakUp ne permet d'afficher que quelques questions pertinentes à l'écran, nous avons affecté deux personnes (F. Sèdes et N. Passat) pour les organiser en groupes thématiques et les proposer à l'animateur, relai vers les conférenciers. Enfin, nous avons créé une

---

17. Avec le soutien technique de Jérémie Schneider, responsable de l'équipe Gestion de parc audiovisuel, DSI université Grenoble-Alpes.

18. <https://vimeo.com/socinfofr>.

19. <https://web.speakup.info>.

salle de questions SpeakUp par session ; il aurait été plus judicieux de créer une salle de questions par présentation.

Ci-après la liste des sites avec le nom des référents respectifs : Anglet / Pau (R. Chbeir), Annecy (S. Monnet), Avignon (Y. Heyel), Belfort, Besançon, Montbéliard (P.-C. Heam), Bordeaux (O. Baudon), Bourges (C. Eichler, S. Fritella), Brest (A. Plantec), Caen, Le Havre (B. Zanuttini), Calais (C. Renaud), Chambéry (D. Telisson), Clermont-Ferrand (I. Falih), Dijon (H. Cherifi, C. Roudet, O. Togni), Grenoble (C. Berrut), La Rochelle (Y. Ghamri), Lannion (A. Martin), Le Mans (D. Py, L. Hamon, C. Piau Toffolon), Lens (D. Le Berre), Lille (B. Beaufiles, J.-J. Vie), Lyon Campus de la Doua (S. Ben Mokhtar), Lyon ENS (D. Hirschhoff), Marseille (B. Couetoux), Montpellier (A.-E. Baert), Mulhouse (J. Weber), Nancy (M. Dufлот-Kremer, I. Debled-Rennesson), Nantes (M. Magnin), Nevers (S.-M. Senouci), Nice Sophia-Antipolis (D. Pallez), Orléans (N. Ollinger), Paris (Orsay) (C. Froidevaux), Paris (Jussieu) (N. Maudet), Paris (13<sup>ème</sup>) (E. Duchi), Paris (Palaiseau) (F. Trahay, B. Defude), Poitiers (S. Alayrangues), Reims (N. Passat), Rennes (L. Bougé), Rouen (C. Zanni-Merck), Saint-Étienne (B. Jeudi), Strasbourg (C. Wemmert), Toulon (E. Murisasco), Toulouse (F. Sèdes), Valence Drôme (O. E. Kheir Aktouf), Valenciennes (T. Delot), Vannes (I. Borne).

## Retour d'expérience

Nous avons souhaité envoyer un questionnaire d'évaluation à la fois aux jeunes chercheuses et chercheurs mais aussi aux personnes référentes pour connaître leurs avis et suggestions afin d'améliorer les prochaines éditions de la journée des doctorants. Les réponses sont synthétisées dans les paragraphes suivants.

### *De la part des doctorants*

Nous avons reçu 185 réponses de doctorants sur environ 500 inscrits (37 %) ; ce qui est un très bon taux de réponse.

Question	Oui	Plutôt	Pas vraiment	Non
Les objectifs de la journée étaient-ils clairement définis ?	159	24	2	0
Les objectifs poursuivis ont-ils été atteints ?	140	40	2	0
Le format de la journée était-il adapté à son contenu (des demi-journées thématiques et des sessions thématiques)	151	31	2	1
Le rythme de la journée était-il adapté ?	119	57	6	1
Regrouper les questions après plusieurs interventions était-il une bonne idée ?	123	47	15	0
La gestion des questions avec SpeakUp vous a-t-elle convenue ?	127	43	10	2
Le recours à la visio-conférence (en dehors du contexte de la crise sanitaire) vous semble-t-il une bonne idée pour ce type d'évènement ?	117	43	21	5

### *De la part des référents*

Nous avons reçu 20 réponses sur 43 personnes référentes (46 %) ; ce qui est un excellent taux de réponse.

Question	Oui	Plutôt	Pas vraiment	Non
Les interactions locales avec les doctorants ont-elles été faciles ?	15	4	1	0
La relation avec l'école doctorale a-t-elle été facile ?	15	4	1	0
La relation avec les laboratoires a-t-elle été facile ?	17	2	1	0
Les informations reçues des organisateurs pendant la préparation de la journée ont-elles été claires ?	20	0	0	0
La journée de test a-t-elle été utile ?	15	3	1	1
Seriez vous partant pour l'organisation d'autres événements en lien avec la SIF et/ou SPECIF-Campus ?	14	6	0	0

## **Bilan**

Cette seconde édition de la journée des doctorants a été accueillie très favorablement : la diversité et la richesse des interventions et des échanges qui en ont découlé sont à l'origine de ce succès. La journée était initialement prévue en visio-conférence entre les différents sites ayant répondu présent à notre invitation. Sur chaque site, la réunion des doctorants était envisagée en présentiel. De façon paradoxale et à cause de la crise sanitaire, l'usage obligatoire de la visio-conférence a sans aucun doute permis de réunir un plus grand nombre de doctorants sur cette journée. Les thèmes abordés ont été majoritairement plébiscités : la nécessité d'identifier et de valoriser

les compétences acquises, la diversité des carrières et les témoignages – des jeunes docteurs comme de parcours atypiques – ont été particulièrement appréciés. Les participants sont également très intéressés par les conseils pour la préparation des concours. Les suggestions de nos participants sont de trois ordres :

- des thèmes ou questions à aborder dans les prochaines éditions : le doctorat et la mobilité internationale, valoriser son doctorat à l'international, la place du doctorat dans un climat de crise économique, faire un postdoctorat, entrepreneuriat et doctorat ;
- des thèmes ou questions à approfondir : identifier et valoriser ses compétences, doctorat et industrie, comment négocier les termes de son contrat avec les entreprises, préparer une candidature à un concours, enquête sur l'insertion professionnelle des docteurs en informatique ;
- l'organisation : recueillir des questions avant la journée à diffuser aux intervenants ; prévoir un temps plus important pour les questions ; prévoir des pauses-café... La journée a effectivement été dense.

Rendez-vous dans deux ans !





## Pandématique : lorsque pandémie et informatique se rencontrent

Compte rendu de la journée du 18 novembre 2020<sup>1</sup> (Sarah Bouchenak<sup>2</sup>)

---

La pandémie est actuellement l'un des sujets qui accaparent l'attention du public, la recherche mondiale s'est mobilisée sur l'épidémie, et la SIF a organisé le 18 novembre 2020 une journée intitulée « pandématique » consacrée à la science informatique en période de pandémie. À cette occasion, des oratrices et orateurs ont présenté leurs points de vue sur des questions aussi variées que :

- l'épidémiologie ;
- l'algorithmique épidémique ;
- la bio-informatique ;
- les applications de traçage des personnes ;
- la protection des données ;
- le téléenseignement ;
- la sociologie du télétravail.

Après une allocution introductive d'Olivier Faron, administrateur général du CNAM, et de Pierre Paradinas, président de la SIF, l'événement s'est déroulé en quatre sessions successives. Une première session était dédiée au traitement de grandes masses de données épidémiologiques, et incluait deux exposés. Un premier exposé a été donné par Isabelle Boutron, épidémiologiste, professeure à l'université Paris Descartes, INSERM, sur le projet COVID-NMA<sup>3</sup>. Ce projet est une initiative internationale, démarrée en mars 2020, soutenue par l'organisation mondiale de

---

1. <https://www.societe-informatique-de-france.fr/les-journees-sif/pandematique>.

2. Sara Bouchenak, professeure à l'INSA Lyon.

3. <https://covid-nma.com>.

la santé (OMS), pour mettre en place une cartographie dynamique et une revue systématique des essais cliniques Covid-19 à travers le monde.

Le second exposé de cette session a été donné par Romain Vuillemot, maître de conférences à l'École centrale de Lyon. Il a présenté les résultats de travaux conduits dans le cadre du projet COVID-NMA, pour l'extraction, l'analyse et la représentation graphique des données d'essais cliniques. Les techniques avancées de visualisation appliquées aux essais cliniques randomisés ont ainsi mis en évidence les combinaisons de traitements les plus testées, et le potentiel de tests de traitement à explorer.

La seconde session était consacrée à la question importante de la protection des données personnelles dans le cadre de la mise en œuvre d'outils informatiques pour la santé. Un premier exposé a été présenté par Claude Castelluccia, directeur de recherche à Inria, Grenoble. L'exposé portait sur l'application mobile TousAntiCovid<sup>4</sup> de recherche de contacts, pour avertir les personnes concernées d'une éventuelle transmission avec personne infectée par le virus. Le deuxième exposé de la session a été donné par Stéphanie Lacour, directrice de recherche CNRS, en sciences juridiques et sociologie, spécialiste en protection des données. Elle a abordé le règlement général sur la protection des données et ses implications sur les données de santé et, entre autres, les données de santé dans un système d'information et elle a rappelé un certain nombre de règles de droits qui s'imposent.

La troisième session avait pour thème les algorithmes et l'épidémie. Le premier orateur de la session était Olivier Gascuel, directeur de recherche au CNRS à Paris, membre de l'Académie des sciences. Son exposé a porté sur l'apport de la bio-informatique et des données génomiques pour l'analyse de l'origine, de l'évolution et de la propagation mondiale du SARS-CoV-2, virus responsable de la pandémie mondiale de Covid-19. Depuis la première détection du virus, les chercheurs du monde entier séquencent le génome du SARS-CoV-2 et ses variants à un rythme accéléré. L'orateur a présenté les principes généraux des méthodes d'analyse bioinformatique, et leurs résultats majeurs concernant la pandémie de Covid-19.

Anne-Marie Kermarrec, professeure à l'EPFL, Lausanne, spécialiste d'algorithmique distribuée et d'algorithmes épidémiques, a donné un exposé sur les épidémies et les algorithmes. Elle a d'abord rappelé l'apport de l'informatique et des outils numériques pendant la crise sanitaire. Son exposé a ensuite porté sur les algorithmes épidémiques, en rappelant leur structuration générale et leur fonctionnement. L'exposé a alors montré l'utilité de ces algorithmes dans le cadre des nombreuses applications et besoins qui ont émergé pendant cette crise sanitaire.

La quatrième session portait sur l'impact de la pandémie sur la conduite de nos activités à distance. Le premier exposé de cette session a été donné par Jean-Marie

---

4. <https://bonjour.tousanticovid.gouv.fr>.

Gilliot, maître de conférences à l'IMT Atlantique ; il portait sur les nouvelles pratiques de formation pour le téléenseignement et l'hybridation des formations. Dans le contexte particulier de pandémie et de (semi-)confinement, le télé-enseignement a été mis en place dans l'urgence, ce qui a fait émerger un type de formation inédit par rapport à la formation à distance classique. L'exposé a permis de présenter, au travers de retours d'enquêtes et d'expériences, les premières leçons tirées et l'impact constaté du côté des élèves, des parents, des étudiants et des enseignants, mais également des institutions.

Le second orateur de la session était Philippe Planterose, sociologue du travail, président de l'Association française du télétravail et des téléactivités. Son exposé a soulevé la question suivante : le télétravail va-t-il s'inscrire définitivement dans les organisations des entreprises et des administrations ? Il a présenté une revue du télétravail tel que pratiqué hier, aujourd'hui suite à la crise sanitaire, et demain avec les possibles changements de paradigmes et d'impact sur notre manière de vivre.

Enfin, nous souhaitons remercier l'ensemble des organismes qui ont soutenu cet événement, à savoir le CNAM, le CNRS, l'ENS Paris-Saclay, l'institut des sciences sociales du politique, et l'université Côte d'Azur. Des remerciements sont également chaleureusement adressés aux personnes ayant contribué à l'organisation de l'événement : Sylvie Alayrangues, Marla da Silva, Nicolas Herbaut, Damien Magoni, Denis Pallez, Pierre Paradinas, et Fabien Tarissan.





## Présentation du dossier spécial

Sylvie Alayrangues<sup>1</sup>

Depuis sa création, la SiF a impulsé, poussé, accompagné, suivi, défendu nombre d'initiatives visant à donner à tout citoyen les clés informatiques indispensables pour être réellement acteur dans notre société. Elle n'était évidemment pas la première à se lancer dans ce vaste programme et le cinquantième anniversaire de l'EPI<sup>2</sup> (association Enseignement public pour l'informatique) nous le rappelle un peu douloureusement : la nécessité d'une acculturation à l'informatique était déjà perçue en 1971 mais il aura fallu plusieurs décennies d'un ballet avec les pouvoirs publics, succession de petits pas en avant, et grandes enjambées en arrière, pour que notre discipline trouve enfin une place dans la scolarité de nos jeunes. Ce changement amorcé pendant la dernière décennie avec l'introduction de l'informatique à l'école primaire puis au collège, culmine aujourd'hui avec la reconnaissance de notre discipline comme une discipline scolaire à part entière, reconnaissance notamment entérinée par la création du CAPES Numérique et sciences informatiques (NSI).

Voilà un an se déroulaient les premières épreuves de ce nouveau CAPES. Juillet prochain verra sortir les premiers bacheliers à avoir suivi la spécialité « Numérique et sciences informatiques » en première et pour certains également en terminale. En septembre, ils seront accueillis dans les formations du supérieur. La révolution est en marche.

Dans ce dossier, 1024 a souhaité donner la parole à certains collègues qui accompagnent ce changement. Jean-Marie Chesneaux, inspecteur général de mathématiques en charge de NSI, commence par nous donner un éclairage sur ce que

1. Maitresse de conférences en informatique à l'université de Poitiers.

2. <http://www.epi.asso.fr/epinet/epinet232.htm>.

signifie concrètement l'introduction d'une nouvelle discipline au lycée. Puis Isabelle Guérin Lassous, présidente du jury du nouveau CAPES NSI, accompagnée de Fabien Tarissan et Marie Duflot-Kremer, nous présente le concours et nous propose un retour sur la première édition. La parole est ensuite donnée à des acteurs du lycée. Charles Poulmaire, professeur de mathématiques et informatique, formateur dans son académie, partage avec nous son regard sur l'introduction de l'informatique au lycée. Grâce à David Roche, professeur de physique et d'informatique, nous avons également recueilli le témoignage de deux lycéennes, Mélisse Clivaz et Émeline Chollet qui ont choisi de suivre la spécialité NSI en première et terminale. Nous le savions déjà, l'informatique est aussi une affaire de femmes ! Enfin, nous donnons la parole à Marc de Falco et Yann Salmon, professeurs d'informatique en classes préparatoires qui nous expliquent comment ces dernières s'adaptent à l'arrivée des nouveaux bacheliers, en modifiant leurs programme mais aussi en créant une nouvelle filière spécifique MPI (mathématiques, physique, informatique) pour l'accueil des bacheliers NSI.

Pour compléter le panorama de l'évolution de l'enseignement post-bac, il manque ici une présentation du nouveau Bachelor universitaire de technologie, une information sur l'évolution des BTS et une description des choix faits dans les universités pour accueillir les nouveaux bacheliers en licence. Nous espérons revenir sur ces aspects dans les prochains numéros de 1024 et en profitons pour lancer ici un appel à témoignages auprès des collègues porteurs de ces formations pour savoir quel impact ce nouveau bac et l'arrivée notamment de la spécialité NSI ont sur l'organisation et les contenus de leurs formations.



# Entretien avec Jean-Marie Chesneaux

réalisé par Sylvie Alayrangues, Christine Froidevaux, Denis Pallez

En 2019, Jean-Marie Chesneaux a rejoint l'inspection générale de l'éducation, du sport et de la recherche (IGESR), pour s'occuper plus spécifiquement de tout ce qui touche à l'enseignement de l'informatique. Avant cela, il a été professeur d'informatique à Sorbonne Université (ex-UPMC) et dans ce cadre, il a fondé et dirigé l'école d'ingénieur Polytech Paris-UPMC et a été vice-président de la conférence des directeurs d'écoles françaises d'ingénieur (CDEFI). Il a occupé de hautes responsabilités à l'UPMC comme la vice-présidence numérique par exemple. Interrogé par 1024, il a bien voulu se prêter au jeu de l'interview et nous en dire plus au sujet de ses missions et de l'impact de la création de la spécialité NSI au lycée.

1024 : « *Pouvez-vous nous raconter comment (et pourquoi) vous êtes devenu inspecteur de mathématiques en charge de NSI ?* »

J.-M. Chesneaux, J.-M. C. : Au printemps 2019, un poste d'inspecteur général (IG) profilé NSI rattaché au groupe des mathématiques a été publié. C'était cohérent avec la création de la spécialité NSI qui amenait l'informatique à devenir, pour la première fois, une discipline à part entière au lycée. Il était clair que la personne qui serait nommée sur ce poste allait jouer un rôle majeur dans le développement de l'informatique au lycée, indépendamment de la création du CAPES NSI et, nous l'espérons, de l'agrégation d'informatique. Nous avons été plusieurs, avec la SIF évidemment, à penser qu'il était important que les informaticiens du supérieur (maîtres de conférences ou professeurs d'université) candidatent. C'était, à mes yeux, d'autant plus important que la création de la nouvelle IGESR incluant l'ex-IGEN et l'ex-IGAENR

étendait le champ de compétences des IG, d'un point de vue théorique, de la maternelle au doctorat mais, surtout, devait couvrir le « -3/+3 » qui me semble aujourd'hui fondamental pour la réussite du système éducatif français.

Nous avons donc incité les collègues de rang A en informatique à candidater ; ce que j'ai fait et j'ai été recruté.

1024 : « *Comment naît une nouvelle discipline dans l'Éducation nationale ? Va-t-il y avoir une nouvelle discipline NSI ? Si oui, quand et comment ?* »

J.-M. C. : Officiellement, la création d'une nouvelle discipline vient avec la création d'un concours de recrutement correspondant. C'est pourquoi la création du CAPES NSI était un élément fondamental. Avec la titularisation, en juin 2021, des premiers certifiés NSI, dès septembre 2021, la création de la discipline NSI sera définitivement actée et cette nouvelle discipline sera intégrée dans tous les services du ministère.

1024 : « *Y aura-t-il la possibilité pour des professeurs de changer de discipline ?* »

J.-M. C. : Dès septembre 2021, normalement, les professeurs qui le souhaitent pourront demander à changer de discipline.

1024 : « *Les professeurs ayant suivi le DIU NSI se sentent menacés par l'arrivée de professeurs certifiés NSI qui doivent être nommés en 2021 sur un poste (il y a déjà eu des professeurs ayant passé le DIU qui se sont vus retirer l'enseignement de NSI au profit de stagiaires du CAPES NSI). Leur crainte est-elle légitime ? Comment faire co-exister ces deux catégories de professeurs ?* »

J.-M. C. : L'Éducation nationale ne donne pas, dans la série générale, la possibilité d'une double appartenance disciplinaire (contrairement à la filière professionnelle). Par ailleurs, il faut comprendre que le recrutement sur concours est la voie normale dans l'Éducation nationale. Aujourd'hui, les professeurs qui ont passé le DIU-EIL sont tous rattachés à une autre discipline qui est la seule reconnue par leur administration.

Pour autant, cette année, il y a 13 907 élèves en NSI en terminale et près de 32 000 en première. Avec 4h par semaine en première et 6h en terminale, même en considérant qu'il n'y a qu'un groupe de 30 élèves en moyenne dans chaque classe, cela fait un besoin de 7 000h de cours–TD–TP par semaine pour cette spécialité. Les 30 certifiés NSI couvriront au plus 600h d'enseignement. Ces chiffres montrent que l'on a besoin à la fois des capesiens NSI et de tous les titulaires du DIU-EIL.

1024 : « *Comment va se passer la nomination des nouveaux titulaires du CAPES NSI l'année prochaine ? Y a-t-il plusieurs scénarios, lesquels ? Comment vont-ils être accompagnés ?* »

J.-M. C. : Comme pour toutes les disciplines, les professeurs qui seront titularisés participeront à ce qu'on appelle le mouvement à savoir les postes fléchés NSI qui seront déclarés vacants. La liste n'est pas encore connue.

1024 : « *Le nombre de postes au CAPES NSI va-t-il continuer à augmenter ?* »

J.-M. C. : Ce sera très lié à l'évolution de la population NSI. En 2021, il y a déjà deux fois plus de postes au CAPES NSI qu'en 2020 (60 dans le public et 8 dans le privé sous contrat). La planification du nombre de postes ouverts aux différents concours relève de la DGRH du ministère. S'il se confirme que les besoins sont en augmentation, le nombre de places offert au CAPES NSI devrait lui aussi augmenter.

1024 : « *Peut-on parler du nombre de démissions au CAPES 2020 ? Combien et pourquoi ?* »

J.-M. C. : Sur les 30 places du CAPES NSI dans le public, il y a eu en effet 25 % de démissions (mais quasiment aucune dans le privé sous contrat). Il est difficile d'analyser pourquoi et il n'est pas sûr que ce soit dû au CAPES en lui-même. N'oublions pas, tout simplement, le manque de compétences en informatique dans tous les secteurs de l'économie française et rappelons qu'un rapport récent<sup>1</sup> montre qu'au niveau mondial (et en France en particulier), la compétence la plus attendue en 2021 est « l'informatique et la programmation — niveau avancé ». Une solution serait de prévoir une liste complémentaire pour le CAPES NSI.

1024 : « *Quand y aura-t-il une agrégation NSI ? Y a-t-il des freins ? Si oui, lesquels ?* »

J.-M. C. : L'existence prochaine d'une agrégation d'informatique est certaine. Il est difficile, aujourd'hui, de donner l'année de sa création. La volonté politique est là puisqu'à l'automne, le ministre Jean-Michel Blanquer a annoncé que l'agrégation d'informatique serait mise en place dans deux ans au plus tard mais il faut être conscient que la création d'un tel concours est compliquée. Il est certain que la communauté informatique attend cette agrégation avec impatience.

---

1. <https://blog.degreeed.com/upskilling-key-business-recovery-strategy/>





# Concours CAPES Numérique et sciences informatiques

Isabelle Guérin Lassous<sup>1</sup>, Marie Duflot-Kremer<sup>2</sup>, Fabien Tarissan<sup>2</sup>

---

## Présentation générale du concours

Le nouveau certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré (CAPES) Numérique et sciences informatiques (NSI) a été mis en place en 2020. Ce concours a pour objectif de recruter des enseignantes et enseignants en informatique pour enseigner au lycée les cours de Sciences numériques et technologie (SNT) en seconde et les cours de NSI en première et terminale. Ces deux matières (SNT et NSI) ont été créées dans le cadre de la réforme du baccalauréat et du lycée d'enseignement général et technologique et sont enseignées depuis la rentrée 2019. SNT a pour objectif de faire découvrir les grands principes et les principaux enjeux sociétaux de l'informatique tandis que NSI, qui est un enseignement de spécialité, vise l'appropriation des fondements de l'informatique afin de préparer les élèves à

---

1. Professeure en informatique, université Claude Bernard Lyon 1, présidente du CAPES NSI, [isabelle.guerin-lassous@univ-lyon1.fr](mailto:isabelle.guerin-lassous@univ-lyon1.fr).

2. Membre du jury du CAPES NSI.

une poursuite d'études dans l'enseignement supérieur. Les programmes des enseignements de SNT<sup>3</sup> et de NSI<sup>4</sup> sont disponibles sur le site internet de l'Éducation nationale.

D'une manière générale, trois concours de ce niveau permettent de devenir enseignant en informatique dans le public (CAPES) ou dans le privé (CAFEP) : le concours externe, le concours interne et le « troisième concours ». En 2020, seuls le concours externe et le troisième concours étaient ouverts pour la spécialité NSI. Un candidat ou une candidate ne peut s'inscrire que dans un seul concours.

Le concours externe est accessible aux personnes remplissant les conditions suivantes : être inscrit en master première (M1) ou deuxième (M2) année, ou bien remplir les conditions pour s'inscrire en master deuxième année, ou encore être titulaire d'un master ou d'un titre ou diplôme reconnu comme équivalent. Le troisième concours (pour l'enseignement public ou l'enseignement privé) est accessible aux personnes justifiant d'au moins cinq années d'expérience professionnelle accomplies dans le cadre d'un contrat de droit privé, sans condition de diplôme.

Le programme de ces concours est constitué du programme d'enseignement de SNT de la classe de seconde générale et technologique et des programmes d'enseignement de spécialité de NSI du cycle terminal de la voie générale du lycée. Les notions traitées dans ces programmes doivent pouvoir être abordées avec un recul correspondant au niveau M1 du cycle master, ce qui implique, entre autres, que des questions de niveau licence ou M1 peuvent être posées sur les éléments de programme de SNT et NSI.

Le concours du CAPES externe NSI et le concours du CAFEP se composent de deux épreuves d'admissibilité et deux épreuves d'admission.

Les épreuves d'admissibilité sont des épreuves écrites de 5 heures et ont chacune un coefficient de 1. Les sujets de ces deux épreuves sont identiques pour les deux concours. La première épreuve d'admissibilité consiste en l'analyse et la résolution de problèmes. Cette épreuve permet, entre autres, de tester les connaissances en informatique et d'évaluer la capacité à raisonner et argumenter.

La seconde épreuve d'admissibilité consiste en la production d'activités d'enseignement et s'appuie sur des documents fournis dans l'énoncé et relevant de différents niveaux de classe. Cette épreuve consiste alors à les exploiter et les analyser en suivant une démarche précise ; elle doit permettre d'évaluer l'aptitude à mobiliser des savoirs disciplinaires et didactiques dans une activité d'enseignement, ainsi que des capacités d'analyse, de synthèse et d'argumentation. Cette épreuve peut comporter

---

3. [https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/08/5/spe641\\_annexe\\_1063085.pdf](https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/08/5/spe641_annexe_1063085.pdf).

4. Première NSI : [https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/26/8/spe633\\_annexe\\_1063268.pdf](https://cache.media.education.gouv.fr/file/SP1-MEN-22-1-2019/26/8/spe633_annexe_1063268.pdf), terminale NSI : [https://cache.media.education.gouv.fr/file/SPE8\\_MENJ\\_25\\_7\\_2019/93/3/spe247\\_annexe\\_1158933.pdf](https://cache.media.education.gouv.fr/file/SPE8_MENJ_25_7_2019/93/3/spe247_annexe_1158933.pdf).

une réflexion sur les dimensions éthiques, juridiques, économiques ou environnementales.

Les épreuves d'admission sont des épreuves orales, chacune ayant un coefficient 2.

La première épreuve d'admission comprend 3 heures de préparation et 1 heure d'oral avec le jury. C'est une épreuve de mise en situation professionnelle, impliquant le développement d'une leçon. Avant la préparation, un sujet est choisi parmi deux qui ont été tirés au sort. Pendant la préparation, on fournit l'accès à un environnement informatique ainsi qu'à des ressources pédagogiques (indiquées sur le site du ministère de l'Éducation nationale ainsi que sur le site informel du CAPES NSI<sup>5</sup>). Il est intéressant de noter que l'utilisation de ce matériel n'est pas obligatoire et qu'une présentation au tableau sans support informatique n'est pas interdite. L'oral devant le jury consiste à exposer le plan de la leçon, en au plus 10 minutes sans intervention du jury, puis à développer, pendant les 20 minutes restantes, au moins deux activités, sur le thème de la leçon, qui pourraient être menées avec des élèves. Pendant la présentation de ces activités, le jury peut intervenir et poser des questions. À la suite de cela, vient un entretien avec le jury d'une durée de 30 minutes au cours duquel le jury pourra poser toute question sur le sujet de la leçon traitée ou sur des thèmes connexes. L'épreuve a pour but d'apprécier la capacité du candidat ou de la candidate à maîtriser et organiser des notions sur un thème donné, à les exposer de façon convaincante et à mobiliser l'environnement informatique à bon escient. La liste des sujets proposés à la première épreuve d'admission pour la session 2021 est la suivante :

- représentation des données : types et valeurs de base ;
- structures linéaires de données ;
- traitement de données en tables ;
- arbres : structures et algorithmes ;
- graphes : structures et algorithmes ;
- bases de données relationnelles et systèmes de gestion de bases de données ;
- traitements sur une base de données à l'aide du langage SQL ;
- algorithmes de tri ;
- algorithmes gloutons ;
- méthode diviser pour régner ;
- programmation dynamique ;
- recherche textuelle ;
- constructions élémentaires des langages de programmation ;
- paradigmes de programmation ;
- fonctions ;

---

5. <https://capes-nsi.org/>.

- récursivité ;
- mise au point de programmes, documentation de programmes et gestion de bugs ;
- calculabilité et décidabilité ;
- architecture d'une machine ;
- principes de fonctionnement d'un système d'exploitation ;
- gestion des processus et des ressources par un système d'exploitation ;
- réseau et algorithmes de routage ;
- sécurisation des communications ;
- principes de l'Internet ;
- principes du Web ;
- IHM sur le Web : interaction avec l'utilisateur ;
- web : interactions client/serveur.

La deuxième épreuve d'admission repose sur une présentation d'un dossier réalisé par la candidate ou le candidat, suivie d'un entretien avec le jury. Il s'agit donc de préparer, individuellement et bien en amont de l'épreuve, un dossier sur un sujet de son choix en lien avec le programme du CAPES NSI. Dans ce dossier, une ou plusieurs activités pédagogiques en lien avec le thème choisi seront proposées et développées. Les activités pédagogiques proposées peuvent concerner différents niveaux de classe. Les ressources utilisées pourront être des ressources existantes ou un ou plusieurs projets réalisés par la candidate ou le candidat. Les sources des ressources existantes devront être citées. Le jury attend des développements personnels approfondis, de nature disciplinaire, conformes aux exigences du concours et faisant référence aux exploitations pédagogiques possibles. Une compilation de ressources existantes non complétée d'une étude personnelle et d'exploitations pédagogiques pertinentes sera considérée comme insuffisante.

Le dossier, comprenant entre 4 et 6 pages (format A4), décrira de manière synthétique le thème retenu et les différentes activités proposées selon les niveaux de classe considérés. Il devra aussi indiquer comment les ressources seront utilisées avec les élèves et dans quels buts, quelles sont les connaissances et compétences visées, etc. Le dossier devra être soumis, au format pdf, au moins 10 jours avant le début des oraux.

Lors de l'oral, la candidate ou le candidat devra défendre son dossier lors de 30 minutes de présentation en motivant et expliquant une partie au moins des activités proposées dans le dossier. Toutes les activités proposées dans le dossier ne devront pas nécessairement être présentées à l'oral. C'est au candidat ou à la candidate de faire ses choix. La présentation sera suivie de 30 minutes d'entretien pendant lesquelles le jury approfondira tous les points qu'il juge utiles.

Ce dossier, ainsi que l'oral, doit permettre au jury d'évaluer les capacités du candidat à exploiter, pour son enseignement, ses connaissances et différentes ressources de son choix.

Le troisième concours (de l'enseignement public ainsi que de l'enseignement privé) comprend une épreuve d'admissibilité, correspondant à la première épreuve d'admissibilité du CAPES externe, et une épreuve d'admission, correspondant à la deuxième épreuve d'admission du CAPES externe.

## Synthèse du rapport de jury du CAPES NSI pour la session 2020

Cette section présente une synthèse des rapports de jury issus de la session 2020 des concours des CAPES et CAFEP et troisième concours Numérique et sciences informatiques (NSI) consultables en intégralité sur le site informel du CAPES NSI<sup>6</sup>.

La première session de ces concours ne s'est pas déroulée comme prévu à cause de la crise sanitaire : suite à un arrêté, les épreuves d'admission ont été annulées et les épreuves d'admissibilité sont devenues *de facto* les épreuves d'admission. Il n'y a donc pas eu d'épreuves orales et les épreuves écrites initialement prévues fin mars 2020 ont eu lieu les 29 et 30 juin 2020. Cette situation n'est évidemment pas idéale pour démarrer un nouveau concours, mais ainsi, il a pu se tenir !

Pour cette première session, 30 postes ont été proposés au CAPES, 10 postes au CAFEP et 14 postes au troisième concours (7 postes pour le public et 7 postes pour le privé). S'il y a eu de nombreuses candidatures à ces concours, le nombre de présents aux épreuves a été beaucoup plus réduit (316 présents sur 1118 inscrits pour le CAPES externe, 135 présents sur 517 inscrits pour le troisième concours du CAPES, 51 présents sur 163 inscrits pour le CAFEP externe et, enfin, 39 présents sur 98 inscrits pour le troisième concours du CAFEP). Il est difficile de justifier ces taux d'absentéisme élevés mais plusieurs explications peuvent être envisagées : le nombre très réduit de masters MEEF préparant spécifiquement au CAPES-CAFEP de NSI ; la difficulté pour les personnes exerçant une activité professionnelle à pouvoir se préparer efficacement au concours ; l'aménagement du déroulement du concours du fait de l'épidémie de la COVID-19.

Les 30 postes au CAPES externe ont été pourvus, ainsi que les 7 postes ouverts au troisième concours du CAPES. En revanche, au vu de la faible qualité des productions des candidats au CAFEP et au troisième concours du CAFEP externe, seuls 4 postes ont été pourvus pour le CAFEP et 6 postes ont été pourvus pour le troisième concours du CAFEP. Le lecteur intéressé par la distribution des notes aux deux épreuves peut se référer aux rapports complets du jury.

Les profils des candidats et candidates ainsi que des admis et admises peuvent être analysés à partir des renseignements qu'ils ont fournis au moment de leur inscription (renseignements pouvant être sujets à erreur). Les tableaux 1 et 2 présentent la répartition hommes-femmes parmi les inscrits, les présents et les reçus. Si la proportion

---

6. [https://CAPES-nsi.org/data/uploads/2020/rapport\\_jury\\_CAPES\\_CAFEP\\_2020.pdf](https://CAPES-nsi.org/data/uploads/2020/rapport_jury_CAPES_CAFEP_2020.pdf),  
[https://CAPES-nsi.org/data/uploads/2020/rapport\\_jury\\_3econcours\\_2020.pdf](https://CAPES-nsi.org/data/uploads/2020/rapport_jury_3econcours_2020.pdf).

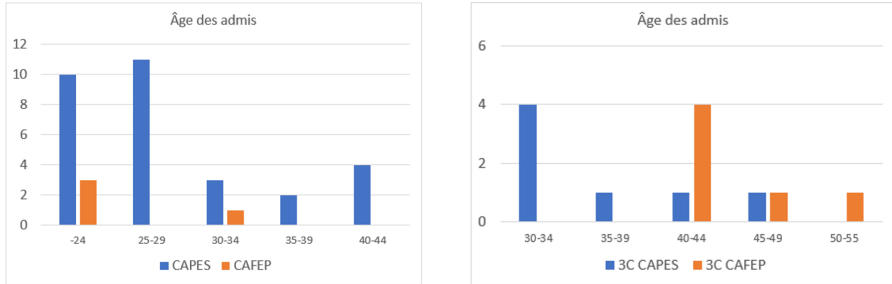


FIGURE 1. Âge des admis aux concours.

de femmes inscrites, présentes et reçues, est relativement faible, on peut toutefois noter une certaine mixité parmi les lauréats.

	Inscrits		Présents		Reçus	
Hommes	971	75,8 %	302	82,3 %	27	79,4 %
Femmes	310	24,2 %	65	17,7 %	7	20,6 %
Total général	1281	100,0 %	367	100,0 %	34	100,0 %

TABLE 1. Répartition au concours externe (CAPES, CAFEP).

	Inscrits		Présents		Reçus	
Hommes	480	78,0 %	145	83,2 %	10	76,9 %
Femmes	135	22,0 %	29	16,8 %	3	23,1 %
Total général	615	100,0 %	174	100,0 %	13	100,0 %

TABLE 2. Répartition au troisième concours (CAPES, CAFEP).

Concernant l'âge, il est intéressant de noter qu'environ 70 % des personnes reçues ont moins de 30 ans pour le CAPES externe et le CAFEP combinés. En revanche, pour le troisième concours (public et privé pris ensemble), presque 70 % des personnes reçues ont entre 30 et 45 ans (avec un trou entre 35 et 40 ans). La distribution des personnes admises par tranche d'âge selon les concours est fournie dans la figure 1.

Toutes les académies ont eu des présents aux épreuves écrites avec néanmoins de fortes disparités entre les académies. La répartition des reçus en fonction des

Académie	Présents		Reçus	
AIX-MARSEILLE	20	5,4 %	2	5,9 %
BORDEAUX	16	4,4 %	2	5,9 %
CAEN	6	1,6 %	2	5,9 %
CORSE	1	0,3 %	1	2,9 %
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	57	15,5 %	8	23,5 %
LILLE	26	7,1 %	1	2,9 %
LIMOGES	5	1,4 %	1	2,9 %
LYON	21	5,7 %	6	17,6 %
MONTPELLIER	18	4,9 %	3	8,8 %
NANCY-METZ	13	3,5 %	2	5,9 %
NANTES	18	4,9 %	2	5,9 %
RENNES	14	3,8 %	1	2,9 %
ROUEN	9	2,5 %	1	2,9 %
STRASBOURG	6	1,6 %	1	2,9 %
TOULOUSE	15	4,1 %	1	2,9 %
Autres	122	33,3 %	0	0 %
Total général	367		34	

TABLE 3. Répartition des reçus par académie au CAPES – CAFEP.

Académie	Présents		Reçus	
CLERMONT-FERRAND	3	1,7 %	2	15,4 %
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	20	11,6 %	1	7,7 %
GRENOBLE	7	4 %	2	15,4 %
LILLE	11	6,4 %	1	7,7 %
LYON	14	8,1 %	2	15,4 %
MONTPELLIER	9	5,2 %	2	15,4 %
NICE	15	8,7 %	1	7,7 %
REIMS	2	1,2 %	1	7,7 %
RENNES	12	6,9 %	1	7,7 %
Autres	81	46,2 %	0	0 %
Total général	174		13	

TABLE 4. Répartition des reçus par académie au troisième concours (CAPES – CAFEP).

académies est présentée dans les tableaux 3 et 4 (les académies n'ayant pas de reçus ne sont pas listées).

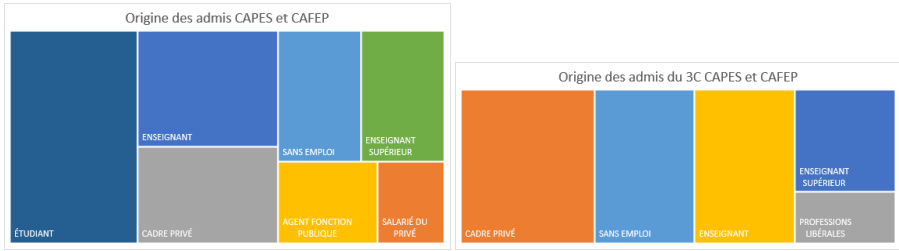


FIGURE 2. Répartition par catégorie professionnelle.

Enfin, la répartition des admis par catégorie professionnelle, après regroupement des catégories, est donnée dans la figure 2.

Le rapport du jury se termine par un certain nombre de rappels à l’attention des candidates et candidats. Notamment, le jury tient à souligner que tous les thèmes du programme ne sont pas forcément abordés lors d’une session du concours, comme cela a été le cas à la session 2020, mais que le jury est sensible au fait que tous ces thèmes soient considérés pour le concours à un moment ou un autre. Enfin, il est important de noter que ces concours doivent être préparés avec soin, qu’il est nécessaire de lire et d’assimiler les programmes d’enseignement SNT et NSI, que l’entraînement à la programmation Python est indispensable et qu’il est aussi très utile de lire avec attention le rapport de jury et d’en tenir compte. Ceci est d’autant plus important pour le troisième concours où les capacités attendues au concours ne coïncident pas nécessairement avec les capacités professionnelles.

Pour avoir une idée plus précise, les éléments du rapport de jury concernant les sujets et l’analyse des épreuves écrites sont présentés dans la section suivante.

## Ce que les copies de 2020 ont révélé

L'intégralité des sujets des deux épreuves écrites ainsi que leurs éléments de réponses sont accessibles sur le site informel du CAPES NSI<sup>7</sup>.

### *Première épreuve écrite*

**Description du sujet.** Le sujet de la première épreuve consistait en deux problèmes indépendants. Le premier problème s'intéressait à la reconstruction d'une séquence d'ADN à partir de son spectre de longueur donnée, c'est-à-dire l'ensemble des mots de la séquence ayant cette longueur. La première partie de ce problème portait sur la recherche de mots dans une séquence d'ADN, avec des questions comme l'identification du nombre de mots de longueur  $l$  dans une séquence d'ADN de longueur  $n$ , la proposition d'un algorithme permettant de lister tous les mots d'une certaine longueur dans une séquence. Après ces questions préliminaires, le sujet énonçait le problème de reconstruction d'une séquence d'ADN à partir de l'ensemble des mots d'une longueur fixée de cette séquence ; mots pouvant être donnés dans un ordre arbitraire. Pour résoudre ce problème, le sujet proposait deux modélisations du problème de la reconstruction à l'aide de graphes. Une première modélisation revenait à la recherche de chemin hamiltonien dans un graphe dont les sommets étaient les mots du spectre. Cette partie du sujet était essentiellement composée de questions d'application de la modélisation et d'identification de la solution sur des exemples. La deuxième partie revenait à la recherche de chemin eulérien dans un graphe dont les sommets étaient les préfixes et suffixes des mots du spectre. Après une question sur l'application de la modélisation sur des exemples et des questions sur les circuits et chemin eulériens, le problème demandait de rédiger une preuve sur la caractérisation des graphes eulériens. Le problème se terminait par l'écriture explicite, en Python, de différentes fonctions permettant la reconstruction de la séquence d'ADN selon la seconde modélisation. Les questions portant sur l'écriture des fonctions Python étaient volontairement graduelles et guidées.

Le deuxième problème était constitué de quatre parties relatives aux systèmes de gestion de bases de données. La première partie demandait l'écriture de quelques contraintes et requêtes en SQL, ainsi que la définition des notions d'atomicité, cohérence et persistance dans ces systèmes. La deuxième partie introduisait la notion de dépendance fonctionnelle et leur détermination à l'aide d'inférences à partir du système d'inférence d'Armstrong (réflexivité, augmentation et transitivité). Après des questions de définition sur les notions d'anomalie de mise à jour et de clé, et des questions de preuve sur des règles d'inférence, le sujet se poursuit avec des questions sur l'utilisation des axiomes d'Armstrong. La partie suivante permettait de déterminer l'ensemble des dépendances fonctionnelles qu'on peut dériver à partir d'un système de règles en introduisant la notion de fermeture transitive. Enfin, la dernière partie

---

7. <https://capes-nsi.org/index.php?id=ressource>

avait pour objectif de définir un système d'inférence correct et complet plus petit que le système d'Armstrong, en se contentant de la règle de réflexivité et d'une règle de pseudo-transitivité.

Le premier problème de ce sujet faisait en particulier appel à des compétences de programmation en Python qui est également le langage de programmation utilisé pour l'enseignement de la spécialité NSI. Il demandait aussi des compétences en raisonnement et en rédaction d'une preuve. Le deuxième problème demandait des compétences à la fois de programmation concrète en SQL, de description claire des propriétés des SGBD, mais aussi d'abstraction dans l'utilisation des règles d'inférence. Si ce dernier point requiert certainement le recul d'un étudiant de fin de M1, la capacité à décrire clairement, dans un français correct, des propriétés comme l'atomicité des requêtes relève clairement des compétences nécessaires pour l'enseignement des bases de données qui figure au programme de la spécialité NSI.

**Un retour à partir des corrections.** Cette première épreuve a été conçue dans l'esprit de l'arrêté du 1<sup>er</sup> juillet 2019<sup>8</sup> qui définit le concours en précisant que « *les notions traitées dans ces programmes [SNT et spécialité NSI] doivent pouvoir être abordées avec un recul correspondant au niveau M1 du cycle master* ». De ce point de vue-là, si on tente de porter un regard général sur l'ensemble des copies qui ont traité le premier problème de la première épreuve, on note que les copies ont révélé une compréhension globalement très bonne de l'utilisation des graphes et de leur intérêt pour la modélisation et la résolution de problèmes concrets. Les copies montrent une bonne compréhension de l'esprit du sujet et de la manière dont doit être menée la modélisation du problème de reconstruction de séquence dans un formalisme de graphe et en faisant le lien avec les questions de programmation qui en découlent.

De même, la question qui sondait les connaissances de base pour analyser un algorithme a montré que les candidates et candidats savaient, en grande partie, déterminer la complexité en pire cas d'un algorithme simple qu'ils proposaient. Ainsi, la question I.c (complexité d'un algorithme en nombre d'opérations) a été traitée par 87 % d'entre eux et parfaitement réussie par environ 40 %. Afin d'aider les futures candidates et futurs candidats à mieux se préparer aux prochaines sessions du CAPES, la suite de cette partie va volontairement se concentrer plus sur les erreurs ou absences de réponses relevées dans les copies que sur les points positifs. Cela ne doit pas cacher le fait que certaines copies ont (très) bien répondu à de nombreuses questions. Ainsi, on peut par exemple regretter que les copies aient mis en lumière une faible capacité à mobiliser un raisonnement rigoureux sur les questions qui s'y rapportaient.

La question I.14 est, à ce titre, la plus éloquente. Elle demandait de démontrer la relation d'équivalence entre l'existence d'un circuit eulérien dans un graphe

---

8. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000038808876>.

orienté et le fait que chaque sommet a son degré entrant égal à son degré sortant. Dans plus de la moitié des copies, cette question n'a pas été abordée et seulement 5,2 % de celles et ceux qui s'y sont attaqués ont parfaitement répondu. S'il est vrai que cette question était l'une des questions difficiles de ce premier problème, il n'en reste pas moins que les tentatives de démonstrations se sont révélées particulièrement laborieuses pour beaucoup de copies, même sur le sens le plus simple de la démonstration.

De manière plus générale, on peut regretter des insuffisances importantes en matière de capacité à raisonner, à produire une argumentation (a fortiori une preuve), à maîtriser des notions élémentaires de logique (comme la réciproque, l'implication ou la contraposée) alors même que le « S » qui figure dans les intitulés SNT et NSI renvoie bien à l'aspect scientifique des enseignements. Il était donc attendu d'une future ou d'un futur titulaire du CAPES NSI de pouvoir guider ses élèves dans une démarche scientifique et rationnelle.

Une autre difficulté relevée largement par les membres du jury tient en ce que les copies ont mis en évidence une difficulté à écrire des programmes corrects. Les six questions liées explicitement à la programmation de la résolution du premier problème (I.15 à I.20) ont, chacune, été traitées dans moins de 40 % des copies. Et, lorsqu'elles étaient traitées, la syntaxe Python a semblé peu maîtrisée. Cette méconnaissance de Python et, plus généralement, la maladresse dans la conception des fonctions demandées ont évidemment pénalisé beaucoup de copies. On peut noter, par exemple, des confusions systématiques entre les types `list` et `set`, et par conséquent entre les méthodes `append` et `add` et, dans une moindre mesure entre les méthodes `append` et `extend`.

Dans le même esprit, et même si cela peut paraître anecdotique, il est révélateur que peu de copies fassent mention à la structure `set` pour gérer le problème des doublons dans la question I.5 (« *quelle structure de données utiliser en Python pour stocker des mots sans répétition ?* »), même si cette remarque doit être relativisée par le fait que la question I.6 (« *écrire une fonction en Python identifiant tous les mots sans répétition* ») a été généralement bien traitée, les candidates et candidats réussissant à contourner correctement le problème lorsque la structure `set` n'était pas utilisée.

Concernant le second problème lié aux systèmes de gestion de base de données, il est plus délicat de tirer des conclusions, tant le nombre de copies traitant cette partie est faible. Néanmoins, certaines questions sont révélatrices des connaissances et compétences dans ce domaine ; ainsi il est frappant de constater que des propriétés fondamentales en base de données, traitées notamment dans les toutes premières questions du sujet, n'ont pas été assimilées. La question II.4 par exemple (« *qu'est-ce qu'une clé dans une base de données ?* ») n'a été correctement traitée que dans 15 % des copies. De même, faisant écho au constat qui a été fait sur les difficultés dans l'écriture de fonctions correctes en Python, on peut noter que les questions

relatives aux requêtes simples en SQL ont révélé là aussi des écueils importants, à l'exception notable de la question II.1.c (requête SQL permettant de récupérer la liste des restaurants évalués par un utilisateur donné) qui a été parfaitement réussie dans plus de 40 % des copies.

Cependant, et malgré les lacunes mentionnées dans des éléments incontournables du domaine des bases de données, on peut saluer la relative réussite des candidates et candidats pour s'approprier des éléments de compréhension du sujet mis en œuvre dans des questions ultérieures du problème. Ainsi les questions 8.a et 8.b (dériver des inférences à partir du système d'Armstrong) ainsi que les questions 9.a et 9.b (déterminer les résultats de l'algorithme qui était fourni dans l'énoncé) ont été majoritairement réussies lorsqu'elles ont été traitées. Ceci montre bien, s'il en était besoin, qu'il faut dépasser les premiers écueils d'un problème et chercher des questions plus faciles qui pourraient se présenter plus loin dans un problème.

### *Deuxième épreuve écrite*

**Description du sujet.** Le sujet de la deuxième épreuve comportait cinq parties. Le fil conducteur de ces parties était la recherche d'informations à partir de données observées. La partie I portait sur un mini-projet, dénommé « le trésor et la fausse pièce », qui avait pour but d'étudier la recherche trichotomique. Un énoncé, à distribuer aux élèves de première, était donné dans le sujet et il fallait proposer un corrigé de cet énoncé. Cette partie se terminait sur une question de remédiation pédagogique et une question demandant la preuve de correction de l'algorithme trichotomique.

La partie II portait sur le jeu du Mastermind proposé comme projet aux élèves de terminale. Dans cette partie, c'est le joueur humain (appelé le décodeur) qui doit trouver la configuration cachée par la machine (qui est alors appelée le codificateur). Après une question pédagogique sur les structures de données, les candidates et candidats devaient fournir un corrigé d'un énoncé proposé dans le sujet. Il s'agissait, dans ce corrigé, de fournir un certain nombre de fonctions Python utiles à la résolution du projet de Mastermind. Cette partie se terminait par une question d'analyse de production d'élèves (programme réalisé par des élèves), puis une question de remédiation pédagogique reliée à l'analyse de la question précédente.

Dans la partie III, il s'agissait de résoudre le jeu du Mastermind dans lequel le codificateur est l'humain et le décodeur la machine. Les premières questions portaient sur le nombre de configurations possibles et sur l'espace mémoire requis pour stocker toutes ces configurations. Il s'agissait ensuite d'analyser une fonction Python et de montrer qu'elle vérifiait une propriété donnée. S'ensuivaient une question pédagogique sur l'élaboration d'un plan de cours et des questions algorithmiques et de programmation Python.

La partie IV avait pour but d'analyser et d'évaluer le travail rendu par les élèves sur le projet de Mastermind. La première question portait sur l'élaboration d'un barème afin d'évaluer le rendu des élèves sur ce projet. La suite de cette partie portait

sur une partie du travail rendu par une élève et donnée dans le sujet. Il s'agissait, notamment, d'évaluer la méthodologie expérimentale qu'elle avait mise en place pour évaluer la complexité de son programme et de l'aider à affiner cette évaluation.

La dernière partie portait sur des questions d'enjeu sociétal autour des données personnelles et du problème de la réidentification de personnes ou d'information à partir de données anonymes. Pour traiter cette partie, on pouvait s'appuyer sur un ensemble de documents fournis dans l'énoncé. Les premières questions portaient sur la proposition d'exemples autour de ces sujets à proposer aux élèves ; il fallait ensuite identifier des mini-activités à faire sur machine avec les élèves pour les sensibiliser à ces questions, et proposer un plan de cours sur ce sujet et une évaluation par QCM.

Les savoirs disciplinaires ont été évalués tout au long de l'épreuve, notamment, lors des corrigés qui devaient être élaborés pour les élèves. Les savoirs didactiques ont été évalués sous des angles variés : élaboration de plans de cours, proposition d'activités sur machine pour illustrer un sujet donné, proposition d'activités de remédiation pour aider les élèves à mieux comprendre et à s'améliorer, élaboration d'un barème pour évaluer les travaux des élèves, et la proposition d'une évaluation par QCM. Les capacités d'analyse, de synthèse et d'argumentation ont aussi pu être évaluées sur plusieurs questions du sujet, par exemple sur les questions portant sur l'évaluation des travaux rendus par les élèves et sur les activités de remédiation. Enfin, un tel sujet permettait aussi d'évaluer les capacités de rédaction des candidats.

***Un retour à partir des corrections.*** Cette deuxième épreuve a été conçue dans l'esprit de l'arrêté du 1<sup>er</sup> juillet 2019<sup>8</sup> qui indique que la deuxième épreuve «  *vise à évaluer l'aptitude à mobiliser des savoirs disciplinaires et didactiques dans une activité d'enseignement, ainsi que les capacités d'analyse, de synthèse et d'argumentation. Cette épreuve comprend une réflexion sur les dimensions éthiques, juridiques, économiques ou environnementales* ».

Les parties ont été traitées de manière inégale. Les parties I, II et V ont globalement été plus traitées que les parties III et IV. De la même façon, certaines questions ont été bien ou très bien réussies. Globalement, comme pour la première épreuve écrite, les correcteurs regrettent des insuffisances importantes chez certaines candidates ou certains candidats en matière de capacité à raisonner, à produire une argumentation (voire une preuve) et à écrire des programmes corrects en Python. La notion de récursivité semble aussi très mal maîtrisée, alors que cette notion fait explicitement partie du programme de NSI de terminale générale et qu'elle est incontournable dans l'apprentissage de l'informatique.

Les réponses aux questions pédagogiques sont globalement peu satisfaisantes puisque ces questions ont été parfaitement réussies, en moyenne, dans à peine 18 % des copies et certaines questions ont été extrêmement peu réussies. Ainsi, les questions III.3 et V.6, faisant appel à un plan de cours, ont été réussies respectivement par 3,5 % et 5 % des candidates et candidats. Les plans de cours proposés sont souvent incomplets et les activités pédagogiques associées sont trop peu décrites et trop

peu variées. De nombreuses activités d'enseignement proposées dans les copies sont peu exploitables en classe et les réponses apportées montrent un manque de recul sur les notions des programmes SNT et NSI. Acquérir une connaissance suffisante des programmes de SNT et de NSI et mener une réflexion en amont sur les exemples et activités adaptés aux élèves de lycée devraient faire partie de la préparation au concours. Capitaliser uniquement sur ses compétences disciplinaires n'est souvent pas suffisant pour se préparer à un tel concours.

Enfin, il est utile de rappeler qu'on attend des candidates et des candidats une bonne maîtrise de l'orthographe et de l'expression écrite. Le ton familier, les plaisanteries et les commentaires inappropriés rencontrés dans certaines copies sont contre-productifs et à éviter.



## Entretien avec Charles Poulmaire

réalisé par Sylvie Alayrangues, Christine Froidevaux, Denis Pallez

Charles Poulmaire<sup>1</sup> est actuellement professeur de mathématiques et de NSI en lycée dans les Yvelines, formateur en mathématiques et informatique dans l'académie de Versailles, et président de l'Association des enseignantes et enseignants d'informatique de France<sup>2</sup> (AEIF). Interrogé par Sylvie Alayrangues, Christine Froidevaux et Denis Pallez pour 1024, il nous livre sa vision de l'enseignement de l'informatique au lycée.

1024 : « *Pouvez-vous nous parler de votre parcours ?* »

Charles Poulmaire, C. P. : J'ai passé un bac C (9 heures de mathématiques hebdomadaires en classe de terminale) en 1981 au lycée Aristide Briand de Saint-Nazaire puis j'ai fait mes classes préparatoires à Nantes, au lycée G. Clémenceau. Après les deux ans de classes préparatoires, je suis allé à la faculté de Nantes pour préparer une maîtrise de mathématiques option informatique. Pendant mes études, j'ai fait des remplacements de mathématiques dans différents collèges de l'académie de Nantes où j'ai découvert le métier d'enseignant. C'est ainsi que j'ai décidé de passer le CAPES de mathématiques. Après une année de stage dans un lycée de Nantes, j'ai été muté dans l'académie de Versailles au collège Benjamin Franklin d'Epone dans les Yvelines en 1991 où j'ai passé une dizaine d'années. En 2002, j'ai demandé ma mutation au lycée Van Gogh d'Aubergenville où j'enseigne encore actuellement. En 2016, j'ai obtenu l'agrégation de mathématiques.

---

1. [charles.poulmaire@ac-versailles.fr](mailto:charles.poulmaire@ac-versailles.fr).

2. <http://aeif.fr>.

1024 : « *Pourquoi vous êtes-vous intéressé à l'enseignement de l'informatique ?* »

C. P. : Je me suis toujours intéressé à l'informatique. Dès l'âge de 13 ans, je me suis plongé avec passion dans la lecture de la revue « Jeux et stratégie<sup>3</sup> ». Dans cette revue, il y avait des exemples de programmes écrits en Basic. J'étais attiré par ce langage qui permettait de créer des jeux mais, malheureusement, je n'avais pas encore d'ordinateur à cette époque. Les captures d'écrans me permettaient de voir le résultat des programmes : c'était extraordinaire ! C'est grâce à mon frère, qui avait acheté un Oric Atmos pour jouer, que j'ai pu commencer à écrire mes premiers programmes et c'est avec un camarade possédant un ZX81 que j'ai pu échanger pour comprendre le fonctionnement d'un ordinateur. Ce n'est qu'à la faculté que j'ai pu m'acheter mon premier ordinateur, un Atari 1024 STF sur lequel je jouais à Dungeon Master tout en écrivant des programmes liés aux mathématiques.

Dès mes débuts comme enseignant de mathématiques, j'ai eu envie de transmettre cette passion pour la programmation. En effet, lors de mon année de titularisation, alors qu'il avait été demandé d'élaborer un sujet de bac C, j'avais proposé un sujet mêlant les mathématiques et la programmation en Fortran (approximation du zéro d'une fonction). En 1990, l'idée avait beaucoup plu. C'est tout naturellement que j'ai créé un club informatique d'une quinzaine d'élèves de quatrième qui fonctionnait une heure par semaine. Durant cette période, nous avons utilisé des logiciels de traitement d'images afin de comprendre la notion d'image numérique (pixel, compression, format). Un des objectifs de l'année était de concevoir un site web. Il y avait une répartition provisoire des rôles sous forme de roulement : le rédacteur en chef, les rédacteurs, les éditeurs de texte, les codeurs. Les sujets abordés dans les articles étaient librement choisis par les élèves en lien avec le programme de français. En collaboration avec la professeure de lettres, nous avons monté un projet sous la forme d'une enquête policière sur plusieurs pages web liées. Nous avions à notre disposition quatre ordinateurs. Les élèves travaillaient en autonomie, ce qui était motivant et porteur. C'est ce qui m'a séduit dans cet enseignement. En 1995, notre travail a été reconnu lors de notre participation à un concours académique sur les sites web lorsque nous avons remporté le Net d'Or de l'académie de Versailles. À travers cette modeste expérience, j'ai pu mesurer l'intérêt de mettre en place un enseignement d'informatique plus large. C'est-à-dire un enseignement mêlant les quatre piliers de l'informatique : les machines, les algorithmes, les langages et l'information. En 2014 au lycée, j'ai demandé à l'inspection de mathématiques si je pouvais mettre en place un enseignement d'informatique dans le cadre des enseignements d'exploration de seconde appelé simplement « Informatique en seconde ». J'ai dû remplir un cahier des charges sur les modalités d'enseignement, le programme, ce qui m'a conduit à réfléchir à la question de cet enseignement en devenir.

---

3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Jeux\\_et\\_Stratégie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Jeux_et_Stratégie)

1024 : « *Est ce que vous regrettez de ne plus enseigner les mathématiques ? Souhaiteriez-vous enseigner les deux disciplines à la fois ? Seriez-vous prêt à changer de discipline définitivement pour NSI ?* »

C. P. : Depuis deux ans, je n'enseigne que l'informatique. Je n'ai pas de regret car c'est un choix qui me permet de m'investir à 100 % dans l'enseignement de l'informatique au lycée, en tant que formateur ou chargé de missions. Cependant je suis toujours rattaché au corps des professeurs de mathématiques. Je garde la possibilité d'enseigner les deux disciplines mathématiques et NSI. Tous les professeurs qui enseignent NSI sont rattachés à leur discipline d'origine actuellement car la discipline informatique n'existe pas encore.

1024 : « *Quels sont les retours de terrain que vous avez sur l'implantation des programmes de NSI et SNT ; par exemple, sur l'utilisation de python pour l'algorithme ? Des points du programme que vous souhaiteriez évoquer ?* »

C. P. : L'implantation des programmes de SNT est très hétérogène suivant les lycées. L'horaire est de 1h30 par semaine et par élève. Il y a différentes organisations selon la politique de l'établissement. Dans certains lycées, les professeurs enseignent en classe entière, dans d'autres, ils ont la possibilité de dédoubler la classe, soit tout le temps, soit par quinzaine. Il est clair que l'absence de dédoublement des classes pose problème pour la gestion des activités nécessitant l'utilisation de l'outil informatique, sachant qu'il y a en moyenne trente-cinq élèves par classe. L'enseignement de SNT ne se fait pas forcément dans des conditions optimales par manque de temps de formation, en raison des difficultés rencontrées dans la mise en place de la réforme, et face à toutes les tâches qui nous incombent en tant qu'enseignants. Par ailleurs, il faut admettre que SNT sert parfois de variable d'ajustement dans l'élaboration des services. L'implantation de NSI pose moins de problèmes. C'est une discipline à part entière comme les mathématiques, la physique, les SVT : elle fait partie des spécialités et il y a moins de réticences à dédoubler une classe à effectif important. Il y a en jeu une épreuve de baccalauréat en première et en terminale. Les dotations matérielles dépendent de la région. Dans l'ensemble, les établissements sont équipés correctement mais parfois au prix d'efforts et de demandes à répétition de la part des professeurs qui doivent faire valoir la nécessité d'avoir une salle équipée. On peut regretter par ailleurs que les dotations ne soient pas faites en fonction des besoins des professeurs. Ces derniers s'expriment mais sont rarement écoutés. Par exemple, les ordinateurs sont livrés avec un système d'exploitation imposé et des logiciels propriétaires peu souhaitables... Dans la région Île-de-France, les enseignants n'ont pas les droits d'administrations des machines ; ce qui rend impossible l'installation de certains logiciels. En outre, on a tendance à oublier la maintenance informatique qui regroupe toutes les tâches et actions nécessaires au bon fonctionnement d'un système informatique. Elle est souvent assurée par des professeurs investis mais pas assez reconnus. Dans mon lycée, j'ai assuré cette fonction pendant un moment mais,

actuellement, nous avons une personne extérieure, un professionnel compétent et à l'écoute de nos demandes, payé par le lycée qui vient une fois par semaine pour assurer cette maintenance. Quel soulagement !

1024 : « *Pour tenir compte de la pandémie, une adaptation du programme NSI pour le bac 2021 est envisagée. Qu'en pensez-vous ?* »

C. P. : Elle me paraît nécessaire compte tenu des circonstances. L'enseignement n'a pas pu se faire depuis fin février 2020 de la même façon sur l'ensemble du territoire. Cette adaptation a été annoncée tardivement dans l'année scolaire sous la forme d'entrées prépondérantes, obligeant les enseignants à modifier leur progression dans une certaine urgence. Les entrées prépondérantes sont des parties du programme sur lesquelles les professeurs doivent en priorité préparer leurs chapitres...

1024 : « *Enseignements hybride, multimodal et NSI : y a-t-il des spécificités pour NSI, des besoins particuliers de logiciels, matériels ? Comment les enseignants se sont-ils adaptés ?* »

C. P. : Dans l'ensemble, les professeurs de NSI se sont adaptés à l'enseignement hybride ou en distanciel. Cela ne signifie aucunement que ce fut facile et que nous étions préparés. L'enseignement hybride ou en distanciel a ses spécificités qui ne sont pas liées à la discipline. Comme beaucoup de collègues, nous avons adapté notre enseignement aux circonstances en utilisant notre propre matériel, voire en investissant sur nos propres deniers, par l'achat de *webcam*, micro, tablette graphique dont le coût dépasse sans aucun doute la prime de 150 euros annuelle. J'ai tout de suite utilisé la classe virtuelle « Ma classe à la maison » du CNED pour maintenir un lien avec les élèves en variant le plus possible les activités en groupe ou en autonomie mais de courte durée. Pour cela j'ai utilisé de nombreux outils, que je recommande aux collègues, comme CodeSkulptor<sup>4</sup> pour la programmation collaborative avec les élèves, Doctools<sup>5</sup> pour les évaluations et le partage de documents, Basthon<sup>6</sup> pour programmer en python sans rien installer, Python Tutor<sup>7</sup> qui permet de comprendre ce qui se passe lorsque l'ordinateur exécute chaque ligne de code, Capytale<sup>8</sup> qui permet de créer et partager une activité Python avec Jupyter.

1024 : « *Comment s'organise la communauté d'enseignants en informatique ?* »

C. P. : La communauté d'enseignants d'informatique s'organise essentiellement à travers une liste de diffusion nationale pour les enseignants de la spécialité NSI<sup>9</sup>.

4. <https://py3.codeskulptor.org>.

5. <https://doctools.dgpad.net>.

6. <https://basthon.fr>.

7. <http://pythontutor.com>.

8. [https://www.ac-paris.fr/portail/jcms/p2\\_1800721/capytale-creer-et-partager-une-activite-python-avec-jupyter](https://www.ac-paris.fr/portail/jcms/p2_1800721/capytale-creer-et-partager-une-activite-python-avec-jupyter).

9. <https://groupes.renater.fr/sympa/info/numerique-sciences-informatiques>.

C'est un espace de discussion qui permet de nombreux échanges riches sur l'enseignement de cette nouvelle discipline : chacun reçoit des réponses rapides, ce qui rompt le sentiment d'isolement que l'on peut ressentir parfois au sein de son établissement lorsqu'on est seul dans cette discipline. Dans l'académie de Versailles, je suis modérateur de la liste de diffusion et *webmaster* du site NSI-SNT<sup>10</sup>. Ces deux outils de diffusion permettent d'informer les collègues rapidement et d'échanger. Par ailleurs, la plate-forme Communauté d'apprentissage de l'informatique (CAI<sup>11</sup>) apporte une aide aux enseignants du primaire et du secondaire qui souhaitent enseigner l'informatique. Elle vise la mise en communauté d'enseignants pour leur faciliter la découverte de l'informatique et d'outils nécessaires pour son apprentissage aux élèves de 10 à 18 ans. Une plateforme et des outils numériques permettent l'entraide entre enseignants et autres professionnels de l'éducation à travers discussions et partages d'expériences et de ressources pédagogiques. De plus, certains membres des associations AEIF et CAI sont en train de s'organiser pour animer le forum dans lequel on va créer des sections par thèmes : une section « café » pour bavarder, une section « pour les experts », une section « les questions qu'on ose à peine poser », une section « AEIF » pour l'évolution du statut, une section autour du CAPES, etc.

1024 : « *Vous nous avez précisé que vous étiez formateur. Quelle formation avez-vous reçue pour former à l'enseignement de l'informatique ?* »

C. P. : Pour préparer les professeurs à l'enseignement d'ISN, enseignement de spécialité de terminale scientifique de 2012 à 2019, l'académie de Versailles a proposé une formation continue sous forme de diplôme universitaire (DU) qui a débuté en 2012. J'ai pu ainsi bénéficier de deux années de formation à l'UVSQ, à raison d'une journée par semaine, en dehors des heures de cours. Cette formation a exigé un investissement personnel régulier en plus de mon travail d'enseignant mais la qualité des cours dispensés et l'ambiance de travail m'ont permis de rester motivé. A l'issue de cette formation, j'ai été inspecté dans une classe de terminale afin d'obtenir l'habilitation. J'ai continué à me former en lisant des livres d'informatique<sup>12</sup> Pour l'enseignement de la nouvelle spécialité NSI, j'ai suivi le diplôme inter-universitaire Enseigner l'informatique au lycée (DIU-EIL) d'une durée de cinq semaines échelonnées dans le temps à raison de 6 heures par jour, sans compter le travail personnel. Une première partie de trois semaines a eu lieu en juin-juillet 2019 en présentiel. Puis, j'ai suivi une deuxième partie en distanciel, en raison de la crise sanitaire pendant les vacances de la Toussaint. J'ai été un peu déçu par certaines interventions qui n'ont pas répondu à mes attentes.

---

10. <https://sciences-informatiques.ac-versailles.fr>.

11. <https://cai.community>.

12. Types de données et algorithmes (Froidevaux, Gaudel, Soria), Algorithmique (Cormen, Leiserson, Rivest, Stein), Programmation efficace (Durr, Vie), Enseigner l'informatique (Hartmann, Naf, Reichet), Apprendre à programmer avec Python 3 (Swinnen).

1024 : « *Pouvez-vous décrire votre rôle de formateur auprès des collègues ?* »

C. P. : En juin 2020, il a fallu former les futurs enseignants de SNT dans une certaine urgence, sur deux jours seulement pendant lesquels j'ai présenté le programme et les différents thèmes abordés. J'ai proposé des documents destinés à un public très hétérogène. En effet, certains collègues n'avaient aucune connaissance de certaines parties du programme qu'ils découvraient. Dans certains établissements, des collègues ont découvert, à la rentrée et avec surprise, qu'ils devaient enseigner cette discipline. Bon gré mal gré, ils se sont adaptés à cette situation difficile et on ne peut qu'admirer leurs efforts. J'ai bien entendu invité les collègues à me contacter en cas de difficulté. Certains d'entre eux se sont organisés en mutualisant leurs ressources, en se répartissant les différents thèmes à enseigner dans l'année. Mon rôle est aussi d'orienter les collègues vers des ressources en ligne fiables et accessibles (Eduscol<sup>18</sup>, MOOC SNT<sup>13</sup>, plateforme France-IOI<sup>14</sup>, Pix<sup>15</sup>, site de David Roche<sup>16</sup>, etc.).

1024 : « *Comment vous êtes-vous investi dans l'élaboration des programmes d'informatique ?* »

C. P. : On m'a proposé de participer à plusieurs groupes d'experts au sein du Conseil supérieur des programmes (CSP). En 2015, j'ai fait partie du groupe d'experts chargé d'élaborer le programme de l'enseignement d'exploration d'informatique et création numérique (ICN<sup>17</sup>) en classe de seconde générale et technologique. Sous la direction de Françoise Tort (maître de conférences en informatique), les membres du groupe, universitaires, professeurs et inspecteurs, ont pu échanger librement, enthousiastes à l'idée de poser les prémices de ce futur enseignement en faisant preuve de créativité. Ainsi, nous avons pu proposer des activités sous la forme de modules dont voici quelques exemples : réaliser un site internet et comprendre les enjeux de la publication d'information, programmer un robot et comprendre le rôle de la robotique dans les activités humaines, développer une base de données et comprendre les enjeux de l'exploitation de grandes quantités de données.

L'année suivante, j'ai participé à l'élaboration du programme d'enseignement d'informatique et création numérique (ICN) en première et terminale ES et L toujours sous la direction de Françoise Tort. En 2017, un groupe d'experts s'est réuni pour revoir et ajuster le programme d'enseignement ISN lors d'une mission de courte durée, pilotée par Laurent Chenot (Inspecteur général de l'éducation, du sport et de la recherche). En 2019, j'ai été sollicité pour faire partie du groupe d'experts chargés

13. <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41018+session01/about>.

14. <http://www.france-ioi.org>, <https://parcours.algorea.org/contents/4703/>.

15. Service public en ligne pour évaluer, développer et certifier ses compétences numériques avec des parcours liés à SNT, <https://pix.fr>.

16. <https://pixees.fr/informatiquelycee>.

17. <https://eduscol.education.fr/philosophie/penser/enseigner-le-numerique/ressources-pour-enseigner-l-icn/textes-officiels-concernant-l-icn>.

d'élaborer les propositions de programmes pour SNT en classe de seconde générale et technologique et pour la spécialité NSI en première et terminale générale, groupe piloté par Laurent Chéno et Gérard Berry (professeur émérite au Collège de France). Pour présenter aux professeurs des activités que l'on peut faire avec les élèves, j'ai participé à différentes actions : plan national de formation dont certaines activités se trouvent dans Eduscol<sup>18</sup>, MOOC « S'initier à l'enseignement en Sciences numériques et technologique<sup>19</sup> », webinaire SNT organisé par la délégation académique au numérique éducatif (DANE) de Versailles en partenariat avec Class'code<sup>20</sup> dont le thème est « comprendre le Web<sup>21</sup> ».

Le programme de spécialité NSI en première et terminale s'appuie sur quatre concepts fondamentaux et la variété de leurs interactions : les données, les algorithmes, les langages et les machines en incluant les objets connectés et les réseaux. La démarche de projet est présentée afin de s'appropriier les concepts et les méthodes. Cependant, c'est à chaque enseignant d'élaborer la progression pédagogique au sein de sa classe. Ce fut, comme pour les autres missions, une expérience très enrichissante mais aussi prenante du fait des délais courts pour la rédaction de ces trois programmes. En tant que formateur académique, j'ai animé non seulement des stages comme « Algorithmique et programmation au lycée en mathématiques » mais aussi des stages sur SNT. En tant que chargé de mission auprès de l'inspection, je réponds aux différentes questions des collègues sur la liste de diffusion de l'académie de Versailles, notamment sur la lecture des programmes ou la diffusion d'informations concernant la discipline. Ces informations sont relayées sur le site NSI/SNT de l'académie de Versailles<sup>22</sup>. Pendant le premier confinement de mars 2020, Jean-Marie Chesneaux<sup>23</sup> m'a proposé de présenter cinq émissions sur la chaîne Lumni destinées aux élèves de première NSI. Avec deux collègues de mathématiques enseignant NSI, Mathilde Boehm et Pascal Rémy, nous avons préparé le scénario de chaque émission d'une demi-heure. C'était une expérience totalement nouvelle qui nous a demandé des heures de préparation et de répétition. Dans les studios, il a fallu surmonter le trac face aux caméras, la chaleur et l'éblouissement des projecteurs : le professeur se retrouve seul, sans élèves, avec le maquillage qui coule... Heureusement j'ai reçu le soutien de l'équipe de tournage et de Jean-Marie Chesneaux qui était présent lors de chaque émission.

---

18. <https://eduscol.education.fr/1670/programmes-et-ressources-en-sciences-numeriques-et-technologie-voie-gt>, <https://eduscol.education.fr/2068/programmes-et-ressources-en-numerique-et-sciences-informatiques-voie-gt>.

19. <https://www.fun-mooc.fr/courses/course-v1:inria+41018+session01/about>.

20. Class'Code est un programme de formation formant, depuis la rentrée 2016, les professionnels de l'éducation et de l'animation afin d'initier les filles et les garçons de 8 à 14 ans à la pensée informatique.

21. <http://www.dane.ac-versailles.fr/s-inspirer-temoigner/comprendre-le-web>.

22. <https://sciences-informatiques.ac-versailles.fr/>

23. cf. son interview dans ce bulletin.

1024 : « *Comment voyez-vous la genèse des différentes spécialités en général ?* »

C. P. : Aujourd'hui, un élève de seconde générale et technologique doit choisir trois spécialités en fin d'année. Or, il est difficile pour les jeunes élèves de se projeter, sachant que ce choix les engage plus ou moins dans une voie. En première, les élèves ont des enseignements communs (français, histoire-géographie, langues vivantes, EPS, enseignement scientifique, enseignement moral et civique) et trois spécialités au choix. Les mathématiques ne font pas partie du tronc commun, ce que beaucoup regrettent. Il faut préciser que l'enseignement scientifique de deux heures hebdomadaires en première et en terminale n'est pas un enseignement de mathématiques même si l'outil mathématique est utilisé. Pour la classe de terminale, l'élève doit choisir deux spécialités parmi les trois qu'il a choisies en première. Les élèves sont aidés dans leur réflexion par le professeur principal ou la conseillère psycho-pédagogique qui n'ont pas une connaissance approfondie de la discipline NSI puisqu'elle est nouvelle. Dans mon lycée la présentation des spécialités pose un problème d'équité. En effet, elles sont présentées aux élèves en amphithéâtre pendant 10 minutes chacune puis aux parents dans une grande salle de spectacle. Or, les professeurs qui présentent les spécialités comme les maths, les sciences de la vie et de la terre (SVT), la physique ou les lettres, peuvent tout au long de l'année montrer l'intérêt de leur spécialité. De plus, compte tenu du confinement, nous devons proposer une vidéo de trois minutes et des documents afin de présenter la spécialité. C'est pourquoi, je me propose d'aller voir directement les élèves en classe, de leur offrir la possibilité de venir voir comment se déroule un cours, d'encourager les élèves qui suivent actuellement NSI à diffuser l'information auprès de leurs camarades.

1024 : « *D'après vous, quelles questions pose la création de cette discipline NSI en termes de formation des enseignants, de carrières des enseignants titulaires du CAPES ?* »

C. P. : La création de cette discipline est antérieure au CAPES NSI qui n'existe que depuis 2020. Il a donc fallu former des professeurs qui étaient déjà enseignants dans une autre discipline. Pour cela, certains enseignants ont passé un DIU-EIL (voir ci-dessus), d'autres avaient déjà un diplôme équivalent validant la possibilité d'enseigner. Dans certaines académies cette formation est encore maintenue mais elle devrait disparaître prochainement, remplacée par le CAPES NSI. C'est une bonne chose pour la discipline qui va se structurer, être reconnue et avoir sa place au lycée, au même titre que les autres disciplines.

Cependant, il ne faudra pas oublier que c'est grâce à l'investissement et l'enthousiasme des enseignants à double compétence que cette discipline existe. Quelle est la légitimité d'un professeur bi-disciplinaire détenteur d'un DIU-EIL ou autre diplôme universitaire ? Ce n'est pas reconnu comme une discipline non linguistique (DNL) ; c'est-à-dire une discipline enseignée dans une langue étrangère comme les mathématiques en anglais par exemple ; il n'y a pas de poste fléché. Actuellement,

l'enseignement de NSI repose sur des professeurs à double compétence dont la fonction n'est pas reconnue officiellement. Cela ne figure même pas sur leur CV dans I-Prof<sup>24</sup>. Cela pose problème lors des mutations puisque l'on est muté sur sa discipline d'origine, sans avoir l'assurance de conserver des heures de NSI et avec le risque de perdre le bénéfice de tout cet investissement, souvent colossal. Dans mon académie, 30 collègues sur 35 souhaitent conserver leur double spécialité. Il serait souhaitable de prendre en compte ces deux souhaits tout à fait légitimes et d'harmoniser les postes avec les nouveaux titulaires qui eux devront faire 18 heures de cours en NSI-SNT. À la rentrée 2021, il sera possible de demander à changer de corps en fonction des créations de postes. Certains collègues le souhaitent (5 sur 35) mais d'autres préfèrent conserver les deux disciplines.

1024 : « *L'année prochaine, comment va se passer la mutation (nomination) des titulaires du nouveau CAPES NSI selon vous ? Plusieurs scénarios sont-ils envisagés, et si oui lesquels ? sur des postes de profs de NSI ? Ils vont devoir assurer 18h/semaine ; comment vont-ils être accompagnés ? Va-t-il y avoir une discipline NSI avec son corps d'IA-IPR ? Quid de la possibilité pour certains professeurs de changer de discipline ?* »

C. P. : A la rentrée 2020, il y a eu 30 stagiaires à la suite du CAPES-NSI. Parmi ces stagiaires il n'en reste que 18. Dès la rentrée 2021, on pourra demander à faire partie du corps NSI. Je ne suis pas prêt pour l'instant à changer de discipline définitivement. Je souhaite garder ma double compétence. Cependant elle n'est pas reconnue au niveau de l'EN. Je connais quelques collègues qui le souhaitent. Il y a le problème de mutations qui risquent d'être difficile avec peu de postes par rapport aux maths. Les mutations des nouveaux titulaires vont s'effectuer comme les mutations dans les autres disciplines avec une première phase inter-académie puis une phase intra-académie. Au vu du nombre d'heures en NSI, environ 7 000 heures réparties sur l'ensemble du territoire cela semble facile. Cependant, la difficulté sera de pourvoir les nouveaux postes à 18 heures sans pénaliser les collègues déjà en place en leur retirant leurs heures NSI. À l'avenir, il faudra cependant rester vigilant. C'est pourquoi aussi les demandes de mutation des professeurs à deux disciplines sont périlleuses.

1024 : « *Comment va se préparer ce CAPES NSI ?* »

C. P. : Auparavant, les étudiants souhaitant devenir enseignants s'inscrivaient dans un master Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation (MEEF). La première année, ils préparaient les épreuves écrites et orales du CAPES. La deuxième année, en cas d'admission au concours, ils devenaient professeurs stagiaires assurant 9 heures de cours hebdomadaires dans un établissement scolaire (collège ou lycée)

---

24. Plateforme permettant aux enseignants de consulter leur dossier administratif, de compléter leur CV.

tout en suivant des cours dans des instituts nationaux supérieurs du professorat et de l'éducation (Inspé) et en préparant un mémoire de recherche qui prend appui sur le stage de formation et d'autres enseignements au sein de la formation. La nouvelle organisation de la formation des professeurs introduit une rupture majeure. Le concours ne sera plus situé à la fin de la première année de master (M1), mais lors de la seconde (M2). Désormais, les étudiants de M2 ne seront plus des professeurs stagiaires, c'est-à-dire des fonctionnaires percevant le salaire d'un professeur débutant, environ 1 400 € net mensuels mais des étudiants en stage. Assurant un enseignement de six heures hebdomadaires, la rémunération des étudiants de M2 serait de 600 € net mensuels — question centrale toujours pas réglée —, soit l'équivalent du tiers de la rémunération d'un professeur contractuel débutant, titulaire d'une licence. Lors de cette seconde année particulièrement dense, les étudiants devront à la fois assurer un service d'enseignement à tiers temps, réaliser un mémoire de recherche et réussir le concours. Depuis 2018, le nombre de postes à pourvoir aux concours des différents CAPES externes a baissé. La crise du recrutement est incontestable et la nouvelle organisation de la formation des professeurs ainsi que la perspective d'une faible rémunération, ne peuvent que l'accentuer.

1024 : « *Que pensez-vous d'une agrégation d'informatique ?* »

C. P. : Je souscris entièrement aux propositions de la SIF. De nombreuses raisons poussent à la création de l'agrégation d'informatique. En effet, il est nécessaire de créer et structurer le corps de l'enseignement de l'informatique au sein du MENJS, d'avoir des IA-IPR d'informatique, de renforcer l'IGÉSR (à notre connaissance, il n'y a actuellement qu'un seul Inspecteur général ayant un diplôme d'informatique de l'enseignement supérieur), de doter la filière MP2I (CPGE) de professeurs et professeurs qualifiés, de créer un vivier de PRAG informatique à la disposition des établissements d'enseignement supérieur.



## Entretien avec deux lycéennes de Haute-Savoie

réalisé par David Roche

Alors que les statistiques nationales indiquent que les filles sont peu nombreuses à choisir la spécialité « Numérique et sciences informatiques », elles représentent 40 % de l'effectif de la classe de terminale de David Roche au lycée Guillaume Fichet à Bonneville en Haute-Savoie. 1024 a donc demandé à David de recueillir les témoignages de quelques unes de ses élèves pour tenter une explication. Mélisse Clivez et Émeline Chollet ont accepté de jouer le jeu.

Si vous suivez ce qu'il s'est passé depuis 2012 au lycée, mise en place de la spécialité « informatique et sciences du numérique » puis récemment de « numérique et sciences informatiques », vous avez sûrement déjà croisé la route de David Roche. Initialement professeur de physique, reconverti en professeur d'informatique, il a produit pour ses enseignements d'informatique de nombreux supports de qualité qu'il met à la disposition de la communauté sous forme de ressources éducatives libres<sup>1</sup>. Ces ressources accompagnent toujours bon nombre d'enseignants et leur ont parfois évité quelques nuits blanches. N'oubliez pas de le citer si vous utilisez sa production (sous licence Creative Commons).

David Roche, D. R. : « *Pourquoi avez-vous choisi NSI en première ?* »

Mélisse Clivaz, M. C. : À ce stade de ma scolarité et de mon parcours avenir, je n'étais pas encore décidée entre mes deux choix d'orientation qui étaient le social et l'informatique. Mes trois choix de spécialité se sont donc portés sur SES (pour le

1. <https://pixees.fr/informatiquelycee>.

social), NSI (pour l'informatique) et AMC puisque l'anglais est, pour moi, toujours utile.

Émeline Chollet, É. C. : J'ai choisi NSI en première car j'avais pris informatique aussi en seconde. Pour le choix de mes spécialités, j'ai pris maths, physique-chimie, et après j'avais le choix entre SVT et informatique. Puis, au fur et à mesure de l'année j'ai préféré l'informatique aux sciences de la vie et de la terre.

D. R. : « *Pourquoi avez-vous choisi de continuer NSI en terminale ?* »

M. C. : Mon choix de spécialité fait en classe de première fut, en réalité, un choix stratégique. Il avait pour objectif de me laisser le plus de liberté possible pour mon orientation future. Le choix de terminale fut en totale cohérence avec mon parcours avenir qui s'est affiné au fil du temps. La spécialité NSI est un moyen de garder un lien avec les mathématiques même si vous ne vous considérez pas comme quelqu'un de « matheux ». De plus, les cours de NSI sont totalement différents des cours magistraux dans la plupart des autres matières ; ce sont des cours qui mélangent théorie et pratique. Ceci permet de se rendre compte en temps réel de l'utilité de ce qu'on apprend.

É. C. : En terminale, nous devons enlever une de nos trois spécialités. Je devais garder obligatoirement maths, mais ensuite, j'avais le choix entre physique et informatique. D'un côté, je voulais garder une plus grande diversité en termes de connaissances, pour éviter de me fermer des portes dès la classe de terminale et avoir moins de difficultés ensuite dans le supérieur si je choisis une classe préparatoire. D'un autre côté, j'avais de très bonnes notes en informatique ce qui n'était pas le cas en physique et j'aimais cette matière. Alors, je me suis décidée à garder NSI aussi en terminale et j'ai bien fait. En NSI, les cours sont totalement différents d'un autre cours, ce ne sont pas des cours magistraux, et notre professeur a fait un site dans lequel il y a tout le cours bien organisé et bien expliqué ; ce qui nous permet d'avancer à notre rythme. Quand tout le monde a fini un point du cours, il nous fait un résumé au tableau. Une fois par mois environ, nous faisons des projets où l'on doit programmer quelque chose ; ces projets sont très enrichissants et nous entraînent à programmer. J'apprécie cette manière de travailler car on a pas mal d'autonomie et on est assez libre, tout en avançant sur le programme rapidement.

D. R. : « *Est-ce que NSI a un rapport avec votre orientation ?* »

M. C. : Comme dit précédemment, mon parcours avenir s'est créé au fil du temps ; notamment grâce au cours d'informatique mais également grâce à des stages en entreprise. Je souhaite travailler dans le domaine du *Web Design*, et mes deux années d'informatique constitueront un point positif sur mon CV lorsque je candidaterai à des écoles formant à ces métiers (ces écoles accordant une valeur importante à la connaissance technique lorsqu'elle vient en plus des aspects créatifs).

Il est certain que le domaine de l'informatique est très peu fréquenté par les filles car le stéréotype des filles littéraires et des garçons scientifiques persiste. De plus, l'image que l'on a d'un cours d'informatique et des personnes qui le suivent est celle de garçons scotchés devant leur ordinateur depuis la naissance alors, qu'en réalité, n'importe qui ayant un minimum de curiosité pour la technologie et l'informatique peut suivre ce cours, le comprendre et y prendre goût.

É. C. : L'année prochaine, je veux suivre un cursus master en ingénierie en informatique à Chambéry. Je pense que mes trois années d'informatique au lycée m'aideront bien. Par ailleurs, cette année, j'ai aussi pris maths expertes dans le but d'avoir un bon niveau en maths.

D. R. : « *Une fille pour une classe de garçons ?* »

É. C. : Je n'ai pas peur d'être dans une classe de garçons. D'un côté, je préfère être dans une classe formée que de garçons plutôt que dans une classe composée uniquement de filles. Et puis, leur compagnie ne me dérange pas. Souvent, ils savent plus de choses que moi alors ils m'apprennent des choses et inversement.





# Réforme des CPGE scientifiques MPI-MP-PSI-PC-PT et évolution de l'enseignement d'informatique

Marc de Falco<sup>1</sup>, Yann Salmon<sup>2</sup>

*Les auteurs ont été membres du groupe de travail d'élaboration des programmes d'informatique en MPI-MP-PSI-PC-PT qui seront en vigueur à la rentrée 2021. Cet article fait suite à celui publié par Judicaël Courant en 2017<sup>3</sup>, qu'on lira ou relira avec profit, notamment pour l'historique qu'il fait de la situation. Les sigles qui ne sont pas développés dans le texte le sont dans un glossaire à la fin.*

Conséquemment à la réforme du lycée, plusieurs changements interviennent à la rentrée 2021 : le principal est la création d'une nouvelle filière MPI qui donne une large place à l'informatique, mais d'importantes modifications de programme ont également lieu dans les filières existantes. Le nouveau schéma de structure des classes préparatoires scientifiques est représenté sur la figure 1.

---

1. Professeur agrégé de mathématiques option informatique, docteur en logique et fondement de l'informatique de l'Université d'Aix-Marseille 2; après avoir été ingénieur en informatique, il enseigne les mathématiques et l'informatique en CPGE depuis 2011; il a été vice-président informatique de l'association UPS de 2017 à 2019.

2. Professeur agrégé de mathématiques option informatique, docteur en informatique de l'Université de Rennes 1, qualifié aux fonctions de maître de conférences en section 27 de 2016 à 2020; enseigne l'informatique en CPGE depuis 2014.

3. Bulletin 1024, numéro 11, septembre 2017, pp. 77–95.

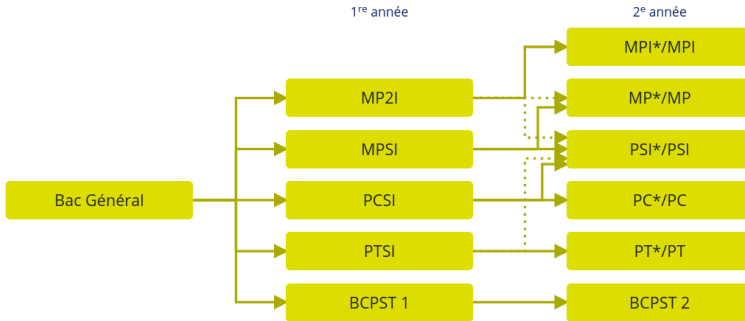


FIGURE 1. Les classes de CPGE scientifiques.

Le présent article propose, dans un premier temps, de présenter la nouvelle filière MPI ainsi que le contexte de sa mise en place. Dans un second temps, l'article propose une analyse personnelle de l'évolution des programmes<sup>4</sup> ainsi que des enjeux et contraintes qui ont présidé à leur écriture. En forme de conclusion, nous abordons la question des professeurs pour enseigner ces programmes.

## La nouvelle filière MPI

### Genèse

La réforme du lycée a bouleversé l'équilibre du bac général. Alors que les CPGE scientifiques recrutait sur un vivier uniforme de bacheliers de l'ancienne filière S<sup>5</sup>, elles vont devoir maintenant composer avec des élèves de profils plus variés.

Il semble acquis que les élèves doivent avoir suivi la spécialité mathématiques en première et en terminale, ainsi que la spécialité physique-chimie en première afin de pouvoir poursuivre dans une CPGE scientifique hors BCPST. On peut considérer que la majeure partie des élèves intéressés par ces classes a choisi de poursuivre en terminale avec une spécialité scientifique parmi physique-chimie (M-PC), sciences de l'ingénieur (M-SI) ou numérique et sciences informatiques (M-NSI)<sup>6</sup>.

4. Les programmes pourront être consultés sur le site <https://prepas.org/index.php?rubrique=53> après leur publication officielle.

5. 203 000 élèves en terminale scientifique lors de l'année scolaire 2019/2020.

6. Pour l'année scolaire 2020/2021, 73 449 M-PC, 5 957 M-SI et 9 328 M-NSI. Source DEPP : <https://www.education.gouv.fr/la-rentree-2020-les-eleves-de-terminale-precisent-leur-choix-de-parcours-307016>.

On peut envisager raisonnablement la poursuite des M-PC en CPGE MPSI, PCSI, ou PTSI, et celle des M-SI principalement en PTSI<sup>7</sup>. Pour les M-NSI, il n'y avait donc pas de classe naturelle pour les accueillir en CPGE. C'est dans cette optique que la filière MPI a été introduite.

Le point crucial pour comprendre la logique de création de cette filière est qu'il ne s'agit pas d'une filière spécialisée pour intégrer presque exclusivement des écoles axées sur l'informatique, mais bien d'une filière généraliste au même titre que les filières MP-PSI-PC-PT. L'esprit des filières en CPGE est celle d'une coloration propre mais d'une formation globalement équivalente. C'est ce qui permet aux étudiants, une fois les concours passés, de se retrouver sur les bancs d'une même école malgré leurs choix de filières.

En particulier, il n'était pas question, pour la majorité des écoles d'ingénieurs, d'accepter des étudiants ayant fait peu voire pas du tout de physique lors de leur scolarité. Une filière mathématiques-physique-informatique (MPI) s'est donc imposée. Pour autant, la coloration informatique forte de la filière la rend particulièrement attractive pour des écoles axées sur l'informatique, et il est naturel qu'elles y recrutent un nombre conséquent d'étudiants, comme nous le verrons plus bas.

### *Mise en place*

Comme pour la majorité des réformes éducatives ces dernières décennies, le gouvernement a décidé de mettre en place la filière MPI à budget constant. Cela ne pouvait donc se faire qu'en remplacement de classes existantes et en préservant au mieux les équipes pédagogiques. Le choix s'est ainsi porté majoritairement sur des transformations de MPSI et de MP.

Il a également été décidé que la filière ne pourrait être tubulaire<sup>8</sup>, dans une optique de prolongement de la réforme du lycée. Alors qu'il aurait été naturel de permettre aux étudiants de première année de filière MPI de rejoindre une MP avec l'option informatique, le choix a été d'introduire un enseignement de sciences de l'ingénieur au premier semestre et de rendre l'informatique optionnelle au sein de sa propre filière. En effet, dans la classe de première année, nommée MP2I, pour mathématiques-physique-ingénierie-informatique, les étudiants peuvent ainsi choisir entre l'option Informatique, nécessaire pour une poursuite en MPI, et l'option Sciences industrielles à l'issue du premier semestre, ce qui leur permettra de rejoindre une filière MP ou PSI.

---

7. À noter qu'ici, il ne s'agit que de recommandations : si l'UPS préconise M-SI uniquement pour PTSI, l'UPSTI a une préconisation plus large de M-SI pour l'ensemble des classes. Ce sont les commissions de recrutement de chaque lycée qui, en sélectionnant certains profils plus que d'autres, entérineront ou non ces préconisations.

8. Dans une filière tubulaire comme la BCPST, les étudiants de la classe de première année de la filière ne peuvent poursuivre leurs études en CPGE que dans la classe de deuxième année de la même filière.

On peut s'étonner de ce choix qui, s'il se comprend dans ce même esprit de préservation des services existants (et des heures supplémentaires associées), place, une fois de plus, l'informatique dans une position antagoniste aux sciences industrielles. Il faut tout de même souligner que la mise en place de transformations est toujours délicate au sein d'un lycée et que derrière les heures et les postes, il y a des personnes, parfois en poste depuis de nombreuses années.

### *Des annonces tardives de transformations*

Il convient d'ailleurs de souligner que de nombreux lycées ouvrant des MP2I l'ont découvert très tardivement, voire, pour certains, après la fin de la procédure de saisie des vœux pour le mouvement des enseignants. Même si on comprend que l'année 2020 a été très perturbée par la pandémie, il aurait été souhaitable que la mise en place de cette filière soit mieux accompagnée afin que son arrivée soit partout vécue positivement.

En septembre 2021, 26 classes de MP2I vont ainsi ouvrir. L'équilibre entre capitale et province est à l'avantage de la province comparativement aux autres filières, ce qui est salutaire pour les élèves, qui n'auront pas forcément à se déplacer. Mais si certaines académies sont bien pourvues, on peut regretter que d'autres ne comportent pas de MP2I. C'est ainsi le cas des DOM-TOM, hormis la Guadeloupe, et d'académies comme celles de Rennes ou de Montpellier.

### *Organisation*

La classe de première année MP2I ressemble, pour les raisons évoquées plus haut, beaucoup à une classe de MPSI, première année de la filière MP. Les horaires (cf. tableaux 1 et 2) et programmes de mathématiques sont ainsi les mêmes dans les deux filières. L'horaire de physique est diminué et ses programmes prennent la suite de la fin du programme de première de spécialité physique-chimie. Seule la physique est enseignée dans cet horaire, la chimie étant uniquement présente pour les étudiants ayant choisi l'option Sciences industrielles au second semestre.

Le choix d'organisation avec des options, tel qu'il a été décrit plus haut, est coûteux en heures d'enseignement et conduit mécaniquement à un horaire d'informatique au premier semestre plus faible que celui de la spécialité NSI en terminale. C'est regrettable, et bien que cela soit complété par la présence d'interrogations orales<sup>9</sup>, on ne peut s'empêcher de penser qu'un horaire minimum de 6h était naturel dans une filière se voulant à coloration informatique.

La classe de deuxième année MPI s'organise, quant à elle, autour d'horaires presque identiques au second semestre de la MP2I option informatique. Là encore, les horaires et programmes de mathématiques sont les mêmes que pour une MP.

---

9. Cinq minutes d'interrogation d'informatique par élève et par semaine, ce qui correspond à une « colle » par groupe de 3 toutes les 4 semaines. Cet horaire est pris sur celui des mathématiques (15 minutes contre 20 en MPSI/MP).

	Semestre 1			S2 option MPI			S2 opt. MP/PSI		
	CM	TD	TP	CM	TD	TP	CM	TD	TP
Mathématiques	10	2		10	2		10	2	
Physique	4	1	1,5	4	1	1,5	4	1	1,5
Informatique	2	1	1	4	1	1	1		1
Français-Philo	2			2			2		
Langue vivante	2			2			2		
TIPE					2			2	
Sciences industrielles	1	1					1	1	2
Chimie							1		1

TABLE 1. Horaires hebdomadaires de MP2I. En option MP/PSI, l'informatique est celle des classes de MPSI/PCSI/PTSI.

Spé MPI				Spé MP		
CM	TD	TP		CM	TD	TP
10	2		Mathématiques	10	2	
5	1	1,5	Physique	5	1	1
			Chimie	1		1
4	1	1	Informatique	0,5	0,5	
			SI ou option info <sup>10</sup>	1	1	
2			Français-Philo	2		
2			Langue vivante	2		
	2		TIPE		2	

TABLE 2. Horaires hebdomadaires de MPI (et MP pour comparaison).

### Les concours

Des annonces ont été faites par la plupart des banques d'écoles en termes de places et il est raisonnable d'attendre qu'une proportion de places correspondant à la même proportion que celle des MPSI/MP transformées soit affectées sur le concours MPI. Il faut toutefois noter que certaines écoles axées sur l'informatique, comme les concours ENS info ou l'ENSIMAG, ont annoncé un grand nombre de places pour cette filière, ce qui est cohérent avec leurs objectifs de formation, et à mettre en relation avec le grand nombre de places des écoles de chimie pour la filière PC ou des Arts et métiers pour la filière PT.

10. Option informatique démarrée, le cas échéant, au début du deuxième semestre de MPSI.

En termes d'organisation des épreuves, à l'heure actuelle en filière MP, seules les ENS proposent une épreuve orale et une épreuve pratique d'informatique. Ces modalités seront très vraisemblablement reconduites *mutatis mutandis* pour le concours MPI. C'est la seule certitude : tout le monde s'accorde à dire qu'il serait souhaitable de proposer de telles épreuves aux autres concours (CCINP, Centrale-Supélec, Mines-Ponts-Télécom, Polytechnique), mais cela dépend, pour chacun d'eux, de choix logistiques et financiers qui ne sont à ce jour pas fixés. Cela a bien sûr eu une influence sur l'écriture du programme : on s'est attaché à ce que les notions étudiées soient évaluables à l'écrit.

### ***Différence avec la filière MPSI/MP option informatique***

Il est légitime de se poser la question de ce qu'apporte cette filière MPI par rapport à l'existence de l'option informatique MPSI/MP. Le point essentiel est qu'en filière MP, même avec l'option, l'informatique reste marginale dans l'organisation du temps scolaire et du travail, et également aux concours : en dehors du cas des ENS, les élèves passent simplement une épreuve à option Sciences industrielles ou Informatique, ce qui empêche une école d'informatique d'affecter un coefficient important à cette épreuve. Dès le premier semestre de MP2I, l'informatique est une discipline structurante. Cela induit naturellement une dynamique très différente et a permis l'élaboration d'un programme plus exigeant. En outre, il n'y aura pas de système d'options aux concours MPI : tous les candidats subiront les mêmes épreuves, ce qui permettra aux écoles qui le souhaitent d'affecter un poids plus conséquent à celles d'informatique.

Un élève de terminale voulant poursuivre en CPGE tout en ayant une part importante d'informatique devrait postuler en MP2I. Compte tenu des inégalités de déploiement de la spécialité NSI, il convient d'ailleurs de souligner qu'à brève échéance ces élèves peuvent très bien ne pas avoir suivi la spécialité NSI. C'est pour cela que la filière MPI est conçue également pour permettre à ces élèves au profil plus traditionnel M-PC<sup>11</sup> d'intégrer une MP2I.

---

11. Voir M-X où X est une autre spécialité du moment qu'ils ont suivi M-PC-X en première.

## Programmes d'informatique

### *Tronc commun des filières MP-PC-PSI-PT*

#### **Première année**

Nous devons commencer par signaler une régression. En effet, depuis 2013, les élèves suivaient une heure de cours et une heure de TP d'informatique en première année. À la rentrée 2021, l'heure de cours est supprimée au premier semestre. Le prétexte invoqué pour cela est l'augmentation du niveau de maîtrise du langage Python au lycée, qui est utilisé en SNT ainsi que dans les spécialités mathématiques et physique-chimie. Cette perte est d'autant plus regrettable qu'à l'heure actuelle, les TP sont en général donnés par plusieurs professeurs : sans cours, l'informatique ne sera plus incarnée de façon cohérente en début de première année.

Malgré cela, les élèves vont bénéficier d'un enseignement plus ambitieux et centré sur l'informatique en tant que discipline. Dans l'ancien programme, le calcul numérique (méthodes d'Euler ou de Newton, etc.) et son utilisation pour résoudre des problèmes physiques ou chimiques occupaient un semestre et une part (trop) significative des épreuves de concours. *Exeunt* : les applications de l'informatique aux autres disciplines sont désormais confiées à ces disciplines ! On se limite en informatique à faire observer les problèmes inhérents à la manipulation des flottants.

Le temps ainsi libéré permet de traiter, en première année, les graphes : leurs représentations, leurs parcours (on voit donc les piles et les files), les algorithmes de Dijkstra et A\*. Au premier semestre, faute de cours, le programme se borne à faire étudier des « thèmes » (boucles, récursivité, matrices représentant des images, tris, etc.) au travers de TP, qui sont néanmoins censés permettre la mise en place d'une discipline de programmation et la pratique du test. Ces activités préparent également les cours du deuxième semestre sur l'analyse des algorithmes (correction, terminaison, complexité), point qui était déjà nominalement mentionné dans l'ancien programme mais qui est désormais davantage mis en avant.

#### **Deuxième année**

Il n'y a toujours qu'un seul semestre d'enseignement, avec une heure de cours et une heure de TD. L'ancien programme était très léger (la récursivité, les piles, trois algorithmes de tri) et on passait un certain temps à réviser le calcul numérique si présent aux concours. Les trois sujets énumérés ci-dessus sont maintenant traités en première année. À part le chapitre sur SQL, qui fait le chemin inverse, c'est donc un programme entièrement nouveau qui sera proposé à partir de 2022 en deuxième année. On traitera de programmation dynamique et ce sera aussi l'occasion, en lien avec la mémoïsation, d'expliquer le principe de hachage mis en œuvre dans les dictionnaires de Python.

En outre, on se penchera sur plusieurs algorithmes fleurant bon l'intelligence artificielle : apprentissage supervisé ( $k$  plus proches voisins) et non-supervisé ( $k$  moyennes), jeux d'accessibilité à deux joueurs (notion de stratégie gagnante) et algorithme min-max avec une heuristique.

Enfin, le nouveau programme résout le problème que posait la multiplicité des opérateurs de concours pour se mettre d'accord sur le fragment du langage Python exigible des étudiantes et étudiants : une annexe énumère ce fragment de façon limitative.

### *Option informatique en MPSI/MP*

Le programme de l'option informatique aurait pu ne pas changer. Son volume horaire reste le même : à partir du deuxième semestre de MPSI, 1 heure de cours, 1 heure de TD, zéro TP. Caml Light avait déjà cédé la place à OCaml en 2017 par voie de circulaire. Cependant, ce programme s'articulait mal avec celui du tronc commun, et ce phénomène risquait de s'accroître avec l'adjonction au nouveau programme de chapitres issus du programme de l'option (la programmation dynamique et les graphes).

Quelques retouches ont donc été apportées. La partie sur le calcul propositionnel passe en première année pour ouvrir, en deuxième année, sur quelques éléments de déduction naturelle dont l'ambition est d'être capable d'écrire de petites preuves. Quant aux graphes, puisque les questions de plus courts chemins sont désormais vues en tronc commun, on s'intéresse, en option, aux arbres couvrants et au couplage dans un graphe biparti.

Les autres chapitres sont inchangés sur le fond mais rédigés de façon plus précise (programmation fonctionnelle, arbres récursifs, langages réguliers) pour clarifier les attentes et limiter le risque de hors-programme aux concours. Ainsi, dans le chapitre sur les structures de données, on présente et compare plusieurs implémentations des files et des piles pour illustrer le principe d'indépendance et ses limites quant à la complexité, mais plus aucune d'entre elles n'est exigible par cœur.

Et bien sûr, on a éliminé les redites avec le nouveau programme de tronc commun. Plus généralement, les deux programmes ont été construits en cohérence, l'un s'appuyant sur et répondant à l'autre.

Comme en tronc commun, le fragment d'OCaml utilisé est dorénavant précisé par une annexe, qui impose en outre aux concepteurs de sujets de concours de rappeler certains points techniques : syntaxe des tableaux, sémantique des boucles for (qui est différente de celle de Python), etc.

Finalement, au côté d'un programme de tronc commun nettement plus ambitieux que dans le passé, le programme de l'option a été rendu légèrement plus simple. Ceci répond à deux changements de contexte. D'une part, les élèves ayant la plus grande appétence pour l'informatique vont à terme se retrouver en MPI et les ENS vont

pouvoir recruter sur cette filière. D'autre part, le potentiel de développement de l'option en MP se trouve maintenant dans des lycées dont les élèves sont de niveau plus modeste et passent principalement le CCINP, et ces élèves qui présentent l'option informatique aux concours de MP font l'objet d'un interclassement avec celles et ceux qui présentent les sciences industrielles : il est important de ne pas les désavantager par un programme plus difficile que dans l'autre option. Le rééquilibrage des programmes de tronc commun et d'option informatique ainsi que leur mise en interaction constructive devraient permettre aux élèves d'avoir un vrai intérêt stratégique à choisir l'option informatique.

### *Informatique en MP2I/MPI*

Tous les sujets vus dans le tronc commun des autres filières ainsi que dans l'option de la filière MP sont bien sûr abordés avec une exigence accrue du point de vue de la maîtrise des différentes notions. Ils sont également approfondis. Par exemple, on étudie l'algorithme de Kosaraju pour la recherche des composantes fortement connexes d'un graphe orienté. On veut aussi donner aux élèves du recul sur les notions étudiées et la capacité à faire le lien entre elles (rapport entre les composantes fortement connexes et le problème 2-SAT, par exemple).

Certains domaines sont enrichis de chapitres nouveaux : algorithmique probabiliste, algorithmique du texte ; en déduction naturelle, on introduit les quantificateurs ; en langages formels, on étudie aussi les grammaires non contextuelles.

On introduit également la décidabilité et les classes de complexité P et NP, sans toutefois que les machines de Turing soient au programme. Le modèle de calcul reste intuitif (un ordinateur à mémoire infinie exécutant du code) et la classe NP est définie par la vérifiabilité en temps polynomial ; le théorème de Cook est admis.

Enfin, on initiera les élèves aux problèmes posés par la concurrence : non déterminisme de l'exécution à plusieurs fils, synchronisation, algorithmes de Peterson et Lamport.

Avec plus de TP que dans les autres filières, on mettra davantage l'accent sur les tests. On s'appuiera sur le graphe de flux de contrôle pour construire des jeux de tests qui en couvrent les sommets ou les arcs.

Mais la principale innovation, pour les classes préparatoires, est l'utilisation du langage C qui permet de traiter la question de la gestion de la mémoire : certaines structures de données, y compris récursives, ne seront pas seulement manipulées au travers des types idoines d'OCaml mais aussi réalisées avec des pointeurs, et cela posera les questions de la durée de vie et de la libération des objets ; on abordera aussi la sérialisation. Cependant, le faible nombre d'heures de TP ne permettra pas d'approfondir beaucoup l'usage de C, et OCaml sera bien utile pour programmer des algorithmes avancés en un temps raisonnable.

Comme dans les autres filières, des annexes délimitent précisément les fragments d'OCaml et de C qui sont à connaître.

Le langage Python n'est pas utilisé dans le cours de MPI. D'une part, les incertitudes sur la création de la filière font que, dans un premier temps au moins, elle accueillera aussi des élèves n'ayant pas suivi NSI en terminale, voire pas en première : il n'aurait pas été souhaitable d'utiliser un langage dont le niveau de maîtrise aurait été très hétérogène à l'entrée. D'autre part, pour les élèves ayant suivi NSI jusqu'en terminale, il est temps de voir d'autres langages ! Python sera cependant utilisé comme outil pour l'exploitation des données expérimentales ou la simulation dans le cours de physique, comme dans les autres filières. Les élèves pourront en outre l'utiliser pendant leur TIPE, et il est probable que, comme maintenant, l'épreuve de TP des ENS laisse au candidat ou à la candidate le choix du langage.

## Enseignants d'informatique en CPGE

### La situation actuelle

La question des enseignants se pose depuis l'arrivée de l'informatique en tant que discipline en CPGE en 2013. Une trentaine de postes fléchés informatique ont été créés, principalement dans des grands lycées à Paris ou en province. En l'absence d'une agrégation d'informatique, ces postes sont pourvus par des titulaires d'une agrégation de mathématiques, de physique, de chimie ou de sciences industrielles, et de préférence, parmi ceux-ci, par ceux qui ont passé une agrégation de mathématiques option informatique ou de sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie de l'informatique.

En dehors de ces postes peu nombreux<sup>12</sup>, la majorité des heures d'informatique est actuellement enseignée en plus de leurs services disciplinaires par des professeurs de mathématiques, de physique, de chimie ou de sciences industrielles. Ces professeurs ne disposant souvent pas de formation en informatique et, en l'absence d'un plan de formation académique de qualité, ont dû s'auto-former et il faut reconnaître que, sans cet engagement de leur part, il n'aurait pas été possible de mettre en place l'enseignement d'informatique.

### L'arrivée de la filière MPI

Il a été décidé par le ministère que la mise en place d'une MP2I/MPI dans un lycée devait s'accompagner de la création de deux postes d'informatique, un par année. Naturellement, ces postes ne sont pas exclusivement dévolus à l'enseignement d'informatique<sup>13</sup> en MP2I et MPI. Cette mesure annonce donc l'arrivée d'une cinquantaine de postes supplémentaires en informatique dans nos classes.

On peut regretter là encore qu'en l'absence d'une agrégation d'informatique, ces postes doivent être pourvus par des enseignants d'autres disciplines. Pour autant, le

---

12. À titre de comparaison, ces classes comptent environ 400 professeurs de mathématiques.

13. D'ailleurs, le poste de première année est potentiellement en sous-service selon le nombre d'étudiants.

ministère semble attentif à ne nommer que des professeurs disposant d'un doctorat d'informatique ou d'une option informatique dans leur agrégation. À ce propos, il faut remarquer que si le programme de l'option informatique de l'agrégation de mathématiques couvre la majorité des thèmes du programme de MP2I/MPI, celui de sciences industrielles et ingénierie de l'informatique n'en couvre qu'une petite partie. Il semble que ce programme soit ainsi plus adapté à l'enseignement dans des filières techniques comme les BTS SIO ou SN.

Enfin, au sujet de ces postes, remarquons qu'en l'absence d'un groupe informatique à l'inspection générale, c'est une commission constituée d'inspecteurs généraux de différentes disciplines qui étudie les dossiers des candidats.

### **Vers une informatique autonome**

Il semble qu'avec l'arrivée de la MPI, nous soyons encore dans une phase de transition où, même si les heures les plus pointues sont confiées à des professeurs d'informatique, une bonne partie d'entre elles sera encore enseignée par des professeurs d'autres disciplines. L'arrivée d'une agrégation d'informatique à laquelle s'ajouterait une politique volontariste de création de postes devrait, à terme, permettre de basculer l'ensemble des heures d'informatique vers des postes dédiés. C'est un objectif qu'il semble crucial d'atteindre afin que l'informatique soit une discipline respectée au même titre que les autres.

### **La place des enseignants d'informatique dans les lycées**

Pour finir, soulignons que la mise en concurrence, pour l'enseignement des heures d'informatique, des professeurs sur postes informatiques par rapport aux professeurs d'autres disciplines peut créer des tensions de manière régulière et conduire à une plus grande précarité de ces postes comparativement aux autres disciplines. Il serait plus que souhaitable que soit instaurée officiellement une règle d'attribution des heures d'enseignement rendant les professeurs dédiés prioritaires lors de l'élaboration des services et leur permettant de déterminer les modalités de cet enseignement.

Parfois, l'informatique en CPGE est vue comme un complément de service de droit, indépendamment des compétences des enseignants. Cette attitude s'explique en partie par le régime antérieur de l'informatique en CPGE (des heures d'interrogation orale organisées sous forme de séances de TP) et par la rédaction de la circulaire du 2 juillet 2014 (répétée le 8 juin 2015) qui a accompagné le programme de 2013, et qui indique que l'enseignement de ce programme a été « *conçu pour pouvoir être assuré par des enseignants de mathématiques, de physique-chimie, et de sciences et techniques industrielles, sous réserve qu'ils aient été ou qu'ils se soient convenablement formés* » : de conçu pour pouvoir être assuré à conçu pour être assuré, il n'y a qu'un pas...

Cette circulaire sera obsolète en septembre 2021 car l'« arrêté-programme » dont elle organise l'application, aura été remplacé. Mais il ne faudrait pas qu'à l'instar de la circulaire 95-251 qui limitait le nombre d'étudiants en option informatique à

48 par lycée (obsolète depuis des années mais abrogée explicitement seulement en 2015), elle reste appliquée par inertie et conservatisme bien après sa date de péremption. Il est nécessaire qu'un discours officiel, appuyé par un groupe informatique bien identifié à l'inspection générale, revienne sur la circulaire du 8 juin 2015. Sa survivance serait injustifiée et même contreproductive par rapport aux nouveaux programmes d'informatique.

### **L'urgence de la mise en place d'une agrégation d'informatique**

Il est difficilement explicable que pour une discipline comme l'informatique, uniquement présente au lycée et en CPGE, le choix se soit porté sur la création d'un CAPES. En effet, les professeurs de CPGE ne peuvent être choisis parmi les titulaires d'un CAPES. Il est donc crucial de créer une agrégation d'informatique. Cependant, cette agrégation arrivera déjà trop tard car la cinquantaine de postes en MP2I/MPI aura déjà été pourvue. Il ne faut pas pour autant sous-estimer l'impact structurant de la création d'une telle agrégation qui, même si elle n'aura pas vocation à placer un grand nombre d'agrégés directement en CPGE, permettra la mise en place d'un corpus disciplinaire autonome par rapport aux autres disciplines et d'un écosystème complet : inspection générale, inspecteurs académiques, jury.

C'est pour cela qu'il est nécessaire de mettre en place au plus tôt une agrégation d'informatique.

## **Glossaire**

**BCPST** : Biologie, Chimie, Physique, Sciences de la Terre (prépas « agro-véto »)

**CCINP** : Concours commun des INP, anciennement CCP, plus anciennement concours des ENSI

**CPGE** : Classe préparatoire aux grandes Écoles

**DEPP** : Direction de l'Évaluation, de la prospective et de la performance au sein du ministère de l'Éducation nationale

**MPII ou MP2I** : Mathématiques, Physique, Ingénierie, Informatique

**MPSI** : Mathématiques, Physique, Sciences de l'ingénieur

**PCSI** : Physique, Chimie, Sciences de l'ingénieur

**PTSI** : Physique, Technologie, Sciences de l'ingénieur

**TIFE** : Travail d'initiative personnelle encadrée, une version plus modeste du Travail d'étude et de recherche de maîtrise : chaque année, un thème national commun à toutes les filières est publié (par exemple : océan) ; l'élève définit un sujet en lien avec ce thème et réalise un dossier d'étude qui est soutenu à l'oral des concours.

**UPS :** Union des Professeurs de classes préparatoires scientifiques (anciennement Union des Professeurs de spéciales) : association regroupant la quasi-totalité des professeurs de chimie, informatique, mathématiques et physique des CPGE scientifiques hors BCPST

**UPSTI :** Union des Professeurs de sciences et techniques industrielles : association regroupant l'essentiel des professeurs de sciences industrielles de CPGE

Les sigles des classes de deuxième année MP, PC, PSI, PT abrègent les mêmes termes que dans les sigles des classes de première année.





## *Association internationale francophone d'Extraction et de gestion des connaissances*<sup>1</sup>

**Objectifs.** — *L'association a pour objet de rassembler les chercheurs académiques et industriels des disciplines de l'informatique décisionnelle, de l'extraction de connaissances dans les bases de données, de la gestion des connaissances, de la fouille de données, de l'apprentissage automatique et de tout autre domaine connexe.*

**Les prix EGC2021 à Montpellier.** — Le prix de la catégorie *article académique* (1 500 euros) a été décerné à Arnaud Giacometti, Béatrice Markhoff et Arnaud Soulet pour leur article intitulé « VERSUS : générateur de tableaux comparatifs à partir de bases de connaissances<sup>2</sup> ».

Le prix de la catégorie *article applicatif* (1 500 euros) a été décerné à Agnès Braud, Pierre Gancarski, Corinne Grac, Agnès Herrmann, Florence Le Ber et Harrison Vernier pour « Classification de séries temporelles hétérogènes pour le suivi de l'état des cours d'eau<sup>3</sup> ».

Le prix de la catégorie *démonstration* (500 euros) a été décerné à Alexis Delaforge, Jérôme Azé, Arnaud Sallaberry, Maximilien Servajean, Sandra Bringay et

---

1. <http://www.egc.asso.fr>.

2. Revue des nouvelles technologies de l'information, vol.RNTI-E-37. pp.23-34, 2021, <https://editions-rnti.fr/?inprocid=1002634>.

3. Revue des nouvelles technologies de l'information, vol.RNTI-E-37, pp.71-82, 2021, <https://editions-rnti.fr/?inprocid=1002638>.

Caroline Mollevi pour « Expliquer les prédictions des réseaux de neurones par l'exploration de l'espace de représentation et de la frontière de décision à l'aide d'EBBE-Text<sup>4</sup> ».

Le prix de thèse (500 euros) a été décerné à Lamine Diop pour sa thèse « Échantillonnage sous contraintes de motifs structurés », thèse co-encadrée par Cheikh Talibouya Diop (université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal), Arnaud Giacometti et Arnaud Soulet (université de Tours, France) et résumée maintenant.

La découverte de connaissances dans les bases de données est une activité de recherche qui permet de trouver de nouvelles tendances, corrélations et modèles, à partir d'une très grande masse de données. La littérature de la découverte de motifs a longtemps lutté avec deux problèmes majeurs. Premièrement, il n'est pas possible d'utiliser directement les motifs pertinents si le seuil d'intérêt minimal est petit car ils sont bien trop nombreux. A l'opposé, si le seuil d'intérêt minimal est trop grand, certaines instances seront peu ou pas décrites. Deuxièmement, l'ensemble complet des motifs ayant satisfait la contrainte de seuil d'intérêt minimal peut contenir de nombreuses redondances. L'échantillonnage en sortie est une méthode non exhaustive pour la découverte instantanée de motifs intéressants qui assure une bonne interactivité tout en offrant de solides garanties statistiques en raison de sa nature aléatoire. Curieusement, une telle approche étudiée pour différents types de motifs, y compris les *itemsets* et les sous-graphes, n'a pas encore été appliquée aux motifs séquentiels et aux bases de données distribuées. Cette thèse propose de nombreuses méthodes dédiées à l'échantillonnage en sortie de motifs séquentiels, l'échantillonnage en sortie de motifs dans des bases de données distribuées et l'échantillonnage en sortie de motifs fondé sur les tris. En plus de répondre à ces tâches complexes, l'originalité des approches proposées est d'introduire une classe de mesures d'intérêt reposant sur la norme des motifs, nommée « classe de mesures d'intérêt fondées sur la norme ». En particulier, cette classe permet d'ajouter des contraintes sur la norme des motifs échantillonnés pour contrôler leur longueur et éviter l'écueil de la « longue traîne » où les motifs les plus rares inondent l'utilisateur. Dans ce cadre, il est proposé, en premier lieu, deux algorithmes nommés *NUSSampling* pour les bases de données séquentielles et *DDSampling* pour les bases de données distribuées. Fondés sur des procédures aléatoires en deux étapes intégrant cette classe de mesures, ils tirent au hasard des motifs proportionnellement à la fréquence pondérée par une utilité fondée sur la norme. En second lieu, il est proposé *TPSampling*, un algorithme d'échantillonnage en sortie de motifs ensemblistes fondé sur la structure du tri. Moins consommateur en mémoire, il tire aussi aléatoirement des motifs en fonction de leur fréquence pondérée par une utilité fondée sur la norme. Il est montré que toutes les méthodes proposées effectuent un échantillonnage exact selon la mesure

---

4. Revue des nouvelles technologies de l'information, vol.RNTI-E-37, pp.485-492, 2021, <https://editions-rnti.fr/?inprocid=1002646>.

sous-jacente. Les applications se focalisent sur l'intérêt des contraintes de norme et de décroissance exponentielle qui aident à tirer des motifs généraux de la tête de la longue traîne. On illustre comment profiter de ces motifs échantillonnés pour construire des classificateurs dédiés aux séquences et aux *itemsets*. Cette approche de classification rivalise avec les propositions de l'état de l'art montrant l'intérêt de l'échantillonnage en sortie de motifs avec une mesure d'intérêt fondée sur la norme. On illustre également l'intérêt des motifs échantillonnés sur les données distribuées du Web sémantique pour détecter des entités aberrantes dans DBpedia et Wikidata.

Retrouvez toutes les informations sur notre site web<sup>1</sup> pour concourir aux prochains prix d'EGC2022 à Blois.



## Association Enseignement public et informatique (EPI)<sup>5</sup>

**Finalités.** — *L'EPI est une association loi 1901 fondée en 1971. Conformément à ses statuts, elle veut faire de l'informatique, et des technologies de l'information et de la communication en général, un facteur de progrès et un instrument de démocratisation.*

**Le 50<sup>e</sup> anniversaire de l'association.** — En cette période de pandémie de la Covid-19, l'association Enseignement public et informatique, à l'occasion de son 50<sup>e</sup> anniversaire, un bel âge pour une association, a publié un numéro spécial d'EpiNet<sup>6</sup>. Depuis sa création en 1971, l'EPI accompagne le développement de l'informatique pédagogique dans le système éducatif. À ce titre, elle est « mémoire collective » de ce développement. Son site en est l'illustration. Et l'association est lieu de réflexion, de proposition et d'action.

---

5. <https://www.epi.asso.fr>.

6. <https://www.epi.asso.fr/epinet/epinet232.htm>.

Dans ce numéro spécial, des amies et amis témoignent de leurs relations avec l'EPI, de notre compagnonnage. Le numéro propose une vue d'ensemble, un historique de 50 ans d'informatique éducative. Il rappelle les liens de l'EPI avec des organisations amies, en particulier la SIF. Et il donne un aperçu de la multitude d'articles parus dans EpiNet. Des fils d'Ariane se sont imposés dès le départ. Ils demeurent : la pluralité des approches ; leur complémentarité, ainsi l'informatique est-elle à la fois instrument pédagogique et objet d'enseignement pour tous car élément de la culture générale à notre époque ; l'impérieuse nécessité d'une solide formation diversifiée de tous les enseignants ; une didactique appropriée ; une recherche pédagogique active. Et l'EPI inscrit son action dans le service public à la promotion duquel elle est attachée. L'EPI considère qu'il y a des statuts éducatifs distincts de l'informatique et du numérique et qu'il ne faut pas les confondre. L'informatique s'imisce dans les objets, les méthodes et les outils des savoirs constitués, transformant leur « essence » ; leur enseignement doit évidemment en tenir compte. L'informatique (re)devient une discipline scolaire de l'enseignement général. Elle est outil pédagogique, transversal et spécifique, qui enrichit la panoplie des instruments de l'enseignant avec la question essentielle de leur bonne insertion dans les démarches et scénarios d'apprentissage. L'ordinateur et les réseaux sont également outil de travail personnel et collectif des enseignants, des élèves et de l'ensemble de la communauté éducative. Pour l'EPI, redisons-le, il existe, et c'est essentiel, une complémentarité entre l'informatique objet d'enseignement et l'informatique outil pour enseigner, statuts qui se renforcent mutuellement. Il y a la connaissance de l'informatique, science et technique qui sous-tend le numérique (comme la biologie sous-tend la médecine ou les sciences physiques l'industrie de l'énergie), et les usages éducatifs du numérique.

Cette dernière décennie, l'EPI s'est inscrite dans la continuité des périodes précédentes. Des actions ont été menées en étroite relation avec tous nos partenaires, enseignants et parents d'élèves. Ce furent des rencontres et des audiences au ministère de l'Éducation nationale, des conférences et des tables rondes, des articles dans la presse nationale, la publication de notre revue mensuelle EpiNet.

En 2013, l'EPI a participé au groupe de travail qui a préparé le rapport de l'Académie des sciences « L'enseignement de l'informatique en France – Il est urgent de ne plus attendre<sup>7</sup> ». Parmi les nombreuses rencontres de la décennie passée, mentionnons qu'avec la Ligue des droits de l'homme, la Ligue de l'enseignement, la PEEP, la SIF et Creis-Terminal, la FCPE étant excusée, l'EPI a rencontré le 27 novembre 2017 la Mission sur les données numériques à caractère personnel au sein de l'Éducation nationale<sup>8</sup>. La rencontre se situait dans la continuité de la demande d'audience que nous avons faite au ministre de l'Éducation nationale suite au courrier du directeur du numérique du 12 mai 2017, courrier qui avait suscité une grande

---

7. [https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rads\\_0513.pdf](https://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rads_0513.pdf).

8. <https://www.epi.asso.fr/revue/docu/d1801b.htm>.

et légitime émotion de la part des parents d'élèves, de syndicats d'enseignants, d'associations. Nous avons réaffirmé que l'on ne doit pas donner les clés de la maison Éducation nationale aux GAFAM et rappelé que si les GAFAM sont là, c'est aussi parce que l'institution éducative les y invite depuis de longues années.

Tout en gardant le cap de « la complémentarité des approches », l'EPI a amplifié ses efforts pour obtenir des pouvoirs publics une intégration de l'informatique dans l'enseignement de culture générale pour tous les élèves. On se souvient que, dans les années 90, il y avait eu les suppressions de l'option informatique et la création du B2i : un désert explicatif. En 2007, notre rencontre à l'Élysée avait relancé et élargi l'action pour l'informatique<sup>9</sup>. Le groupe ITIC avait été créé à l'initiative de l'EPI. La décennie qui vient de s'écouler a vu la création d'ISN, SNT, NSI et celle d'un CAPES NSI. Des avancées significatives mais il reste encore beaucoup à faire : nombre de postes mis au concours correspondant aux besoins, on attend toujours la création d'une agrégation d'informatique. La pratique du numérique dans les différentes disciplines et activités ne se développe pas à la mesure de son intérêt didactique et pédagogique. Toujours et encore l'insuffisante formation des enseignantes et enseignants.



## *International Federation for Information Processing*<sup>10</sup>

**Objectifs.** — *L'IFIP est, depuis sa création en 1960 à l'UNESCO à Paris, l'organisme fédérateur de l'informatique mondiale, dont les membres sont les sociétés professionnelles et savantes nationales ou internationales d'informatique. Son siège se situe dans les châteaux de Laxenbourg à Vienne. Ses comités techniques (Technical Committee ou TC) et groupes de travail (Working Group ou WG), animés par des leaders du domaine, ont profondément marqué la forme actuelle de la discipline informatique.*

---

9. [https://www.epi.asso.fr/revue/editic/aef\\_jb-jpa.htm](https://www.epi.asso.fr/revue/editic/aef_jb-jpa.htm).

10. <https://www.ifip.org>.

**60<sup>e</sup> anniversaire.** — À l'occasion du 60<sup>e</sup> anniversaire de l'IFIP (dont la SIF est membre national constitutif) qui sera célébré cette année à l'UNESCO, l'assemblée générale de l'IFIP a souhaité reconnaître les contributions scientifiques et professionnelles de 18 individus vivants, dont trois français, qui ont le plus marqué le développement de la science informatique au sein de l'IFIP, en les élisant au grade de *Fellow* :

*Joëlle Coutaz.* Membre d'honneur de la SIF, Joëlle Coutaz est une scientifique de renommée internationale ayant eu des contributions et des réalisations significatives dans les aspects logiciels de l'interaction homme-machine (IHM), notamment l'interaction multimodale, la modélisation de l'architecture logicielle et la plasticité des interfaces utilisateur. Membre du laboratoire d'informatique de l'université de Grenoble-Alpes, la professeure Coutaz a étudié le concept de plasticité des interfaces utilisateur, les interfaces utilisateur pour l'informatique mobile, la notion de contexte d'utilisation, ainsi que la conception et la mise en œuvre d'artefacts qui mélangent les mondes physique et virtuel. Elle étudie également la mise en œuvre et l'ingénierie du logiciel pour les domiciles intelligents dans le cadre général de l'informatique ubiquitaire. Membre de longue date de l'IFIP WG 2.7 (*User Interface Engineering*) de 1988 à 2019, et vice-présidente de ce groupe dans les années 1995–1999, elle a également siégé dans les comités de programme des conférences de l'IFIP en 1992, 1993, 1997 et 2005. Elle a reçu en 2013 le *TC13 Pioneer Award* de l'IFIP pour ses « *contributions exceptionnelles aux aspects pédagogiques, théoriques, techniques, commerciaux et professionnels de l'analyse, de la conception, construction, évaluation et utilisation de systèmes interactifs* ». En 2013 elle a aussi reçu les insignes de chevalier de la Légion d'honneur. Elle est docteur *Honoris Causa* de l'université de Glasgow (2007) et elle a été élue membre du SIGCHI.

*Erol Gelenbe.* Il est reconnu pour ses travaux de pionnier concernant les performances des systèmes et des réseaux informatiques. Il a introduit des modèles mathématiques nouveaux comme les « G-réseaux », le réseau neuronal aléatoire, ainsi que l'usage des processus de diffusion pour l'évaluation de performances des systèmes. Il a contribué à la création de produits-logiciel tels que le logiciel d'analyse des performances QNAP, l'outil de simulation de systèmes de production FLEXSIM, le commutateur pour la voix paquetisée SYCOMORE (Thales), et le logiciel d'aide à la décision C2Agents de QinetiQ. Ses travaux sur la consommation d'énergie de l'informatique sont aussi très connus. Il a été directeur scientifique à Inria, professeur ou maître de conférences des universités de Paris-Nord, Paris-Saclay, Paris-Descartes, et à l'école polytechnique, et conseiller technique auprès du secrétaire d'État aux universités (1983–86). Il a aussi été professeur à l'université de Liège, à la Duke University (USA) et à l'Imperial College (UK). Il est actuellement professeur à l'Institut

d'informatique théorique et appliquée de l'Académie polonaise des sciences et chercheur associé au laboratoire I3S de l'université Côte d'Azur. Actif dans le TC6 (réseaux) et WG 7.3 (modélisation des systèmes informatiques) de l'IFIP, il est lauréat du prix *Silver Core* (IFIP, 1980), du grand prix France Télécom (Orange) de l'Académie des sciences (1996), du prix ACM SIGMETRICS (2008), du prix d'innovation de l'IET (UK, 2010), et du prix Mustafa (2017) pour les sciences de l'information. Membre de l'Académie des technologies (France), de la SIF, et des académies des sciences de Belgique, Hongrie, Pologne et Turquie, il est *Fellow* de l'IEEE et de l'ACM, il a encadré 95 doctorats dont de nombreux universitaires et scientifiques qui travaillent en France. Il est chevalier de la Légion d'honneur et commandeur dans l'ordre du Mérite. Il est docteur *Honoris Causa* des universités de Rome II, de Liège et du Bosphore.

*Bertrand Meyer.* Il est un scientifique et entrepreneur français à l'origine du langage de programmation Eiffel et du concept de programmation par contrat. Professeur de génie logiciel à l'ETH Zurich de 2001 à 2016, il est actuellement professeur et doyen de l'Institut de technologie de Schaffhouse et occupe des postes de responsabilité au *Politecnico di Milano* et chez Eiffel Software. Son livre *Object-Oriented Software Construction* est l'un des premiers et des plus complets ouvrages présentant les arguments en faveur de la programmation orientée objet. Lauréat du prix Silver Core de l'IFIP, il est un ancien président du CT2 de l'IFIP (théorie et pratique du logiciel) et membre du GT 2.3 (méthodologie de programmation). Il est membre de l'Académie nationale des technologies de France. Élu *Fellow* de l'ACM (2008), il est lauréat du prix des systèmes logiciel (*Software System Award*) de l'ACM pour son impact sur la qualité du logiciel (2006) ainsi que du prix Harlan Mills de l'IEEE (2008).

Le président de l'IFIP, le professeur Mike Hinchey, a annoncé qu'il était ravi d'accueillir ces nouveaux membres dans le grade de *Fellow* et les a félicités pour leurs réalisations. « *Beaucoup de nos membres jouent un rôle très important dans la conduite de l'innovation, de la recherche et du développement industriel* », a-t-il déclaré, en ajoutant que « *ce sont des professionnels engagés qui ont contribué à façonner le secteur des TIC de manière significative, tant par le rôle qu'ils ont joué dans les comités techniques et les groupes de travail de l'IFIP, que par leurs contributions dans différents domaines professionnels. L'IFIP est fière de récompenser leurs efforts par une reconnaissance en tant que Fellow* » et espère que d'autres personnes seront ainsi reconnues dans les prochaines années.

Les nouveaux *Fellows* de l'IFIP sont : Erol Gelenbe (France), Sir Charles Antony Richard Hoare (Royaume-Uni), Lothar Thiele (Suisse), Grzegorz Rozenberg (Pays-Bas), Joelle Coutaz (France), Bertrand Meyer (France), Wil van der Aalst (Pays-Bas), Fabio Paterno (Italie), John Mylopoulos (Canada), Gene Tsudik (États-Unis),

Roman Slowinski (Pologne), Leslie G. Valiant (UK), Jan Gulliksen (Suède), Frank Tip (États-Unis), Gerhard Goos (Allemagne), Andreas Zeller (Allemagne), Michael Franz (États-Unis), Julio Abascal (Espagne).

---



## *Maison des mathématiques et de l'informatique*<sup>11</sup>

**Objectifs.** — *Pionnière du genre, la MMI est un centre de médiation des savoirs dédié aux sciences mathématiques et informatiques avec une approche vivante, ludique et pluridisciplinaire. Entièrement pilotée par des enseignants-chercheurs passionnés, c'est un lieu où convergent science, art, musique, histoire, architecture... pour une expérience nouvelle des mathématiques et de l'informatique!*

*Créée en 2012 par le Laboratoire d'excellence en mathématiques et informatique fondamentale de Lyon (Labex MILYON) porté par l'université de Lyon dans le cadre de l'IDEXLYON, elle investit expositions, contes, ateliers, jeux, spectacles, conférences... pour permettre à toutes et tous de découvrir et comprendre le monde qui nous entoure.*

**La MMI en ligne.** — La Maison des mathématiques et de l'informatique reste fermée au public jusqu'au mois de mars au minimum. Mais cela ne veut pas dire qu'il n'y a aucune activité! Toute notre équipe travaille pour continuer à fournir du contenu original de qualité. Les Séminaires de la détente et les Soirées mathématiques de Lyon ont fait leur retour en ligne et notre nouvelle rubrique *Boîte à outils* vous propose des activités et des jeux à réaliser à la maison. N'hésitez pas à nous suivre sur nos réseaux sociaux et à vous abonner à notre *newsletter* pour ne rien manquer de notre actualité!

---

11. <https://mmi-lyon.fr>, Facebook : @mmi.lyon, Twitter : @MMI\_lyon, Instagram : mmi.lyon.



## Rapport de conjoncture

Section 6 du Comité national de la recherche scientifique<sup>1</sup>

---

### 1. Introduction

Nous avons choisi dans ce rapport de faire porter l'essentiel de notre effort sur la collecte d'informations statistiques : effectifs, répartitions thématiques, genre, etc. Ces données ont été collectées par les membres de la section durant l'année 2018–2019. Nous proposons aussi des statistiques sur les concours de recrutement et les carrières des chercheurs de la section, à partir des observations effectuées lors des trois années de mandature écoulées. Cette collecte d'informations peut comporter des erreurs, que nous espérons marginales. Par exemple, les chiffres évoluent en permanence et certaines incohérences peuvent être dues à des dates de collecte d'informations légèrement différentes. La part de l'interprétation et de la description des thèmes de recherche et de leurs évolutions est de ce fait plus réduite.

Dans la partie 2, nous découpons en thèmes le périmètre couvert par la section 6. Nous comparons aussi les effectifs respectifs des chercheurs CNRS, des membres

---

1. Membres élus : Pierre ABOULKER (depuis septembre 2019) (DIENS), Pablo ARRIGHI (à partir de septembre 2019) (LIS), Agnès BRAUD (jusqu'à septembre 2018) (ICUBE), Pierre CLAIRAMBAULT (LIP), Hubert COMON-LUNDH (LSV), Pascal DAYRE (IRIT), Rémy DERNAT (depuis septembre 2019) (ISEM), Laurence DUCHIEN (CRISTAL), Amélie GHEERBRANT (jusqu'à septembre 2019) (IRIF), Jean-Marc LARRE (jusqu'à janvier 2018) (LAAS), Dominique LAVENIER (IRISA), Simon PERDRIX (LORIA), Christophe Rey (depuis février 2020) (LIMOS), Celine SCORNAVACCA (ISEM), Sylvain SENÉ (jusqu'à septembre 2019) (LIS), Gilles VILLARD (LIP), Igor WALUKIEWICZ (LABRI), Laurent WEINHARD (LORIA).

Membres nommés : Sandrine BLAZY (IRISA), Clarisse DHAENENS (CRISTAL), Nathalie GILLES (IRIT), Leo LIBERTI (LIX), Philippe OWEZARSKI (LAAS), Pierre SENELLART (DIENS), Pierre SENS (LIP6). <https://members.loria.fr/SPerdrix/files/cn6/doc/Conjoncture06.pdf>.

des UMR, des thèses soutenues, dans chacun des thèmes. Le tableau 1 résume ainsi l'un des principaux travaux effectués par la section pour ce rapport.

Dans la partie 3, nous étudions la place des femmes dans la section (globalement faible) et la comparons à la place des femmes dans la discipline. Nous donnons aussi la répartition par genre dans les concours de recrutement (CR et DR). Les statistiques semblent indiquer que les femmes se censurent pour les candidatures CR, mais en revanche nous n'observons pas de « plafond de verre ».

Dans la partie 4, nous détaillons, de manière plus traditionnelle, l'évolution des thèmes de recherche de la section.

Enfin, dans la partie 5 nous nous penchons sur les recrutements et les carrières des chercheurs en mettant à disposition toutes les statistiques que nous avons pu collecter. Un point saillant est l'importante mobilité sortante dans la section. Nous n'avons hélas pas pu la quantifier précisément car il faudrait des statistiques sur la durée, ce qui est difficile à obtenir à cause de la réorganisation en sections 6 et 7, relativement récente.

Dans tout le document, nous n'avons pas adopté l'écriture inclusive pour faciliter la lecture mais, bien entendu, quand nous parlons de « chercheurs », il faut comprendre « chercheuses ou chercheurs », par exemple.

## 2. Périmètre thématique et évolutions<sup>2</sup>

Le périmètre thématique de la section et de ses voisines est grossièrement représenté dans la figure 1. Bien entendu, les thèmes de recherche ne sont pas étanches ; il s'agit d'une approximation. Les thèmes « apprentissage » et « intelligence artificielle », particulièrement en vogue, sont revendiqués par de nombreuses sections. Ils font partie des mots-clefs de la section 6 depuis sa création, mais dépassent aujourd'hui largement le cadre de la section. Par exemple, le versant « statistique » peut relever de la section 41. L'apprentissage pour la classification d'images, ou le traitement automatique des langues, relèvera en revanche plutôt de la section 7, tandis que l'apprentissage statistique pour la mise au point de systèmes de recommandation relève de la section 6, etc.

Dans la figure 2, nous reportons la répartition thématique des chercheurs, enseignants-chercheurs et thèses. Les chiffres donnés dans le tableau ont été obtenus de la manière suivante :

- chercheurs 6 : il s'agit de tous les chercheurs CNRS en activité (donc ne sont pas considérés ici les chercheurs émérites, les chercheurs en disponibilité ou en détachement...) dans la section 6 au 1<sup>er</sup> janvier 2019. L'étiquetage thématique a été effectué manuellement par les membres de la section, à partir

---

2. En vue de la nouvelle mandature 2021-2026, la description de la section 6 évolue légèrement. La liste des mots clés est disponible sur le site de la section : <https://members.loria.fr/SPerdrix/files/cn6/#MotsCles>.

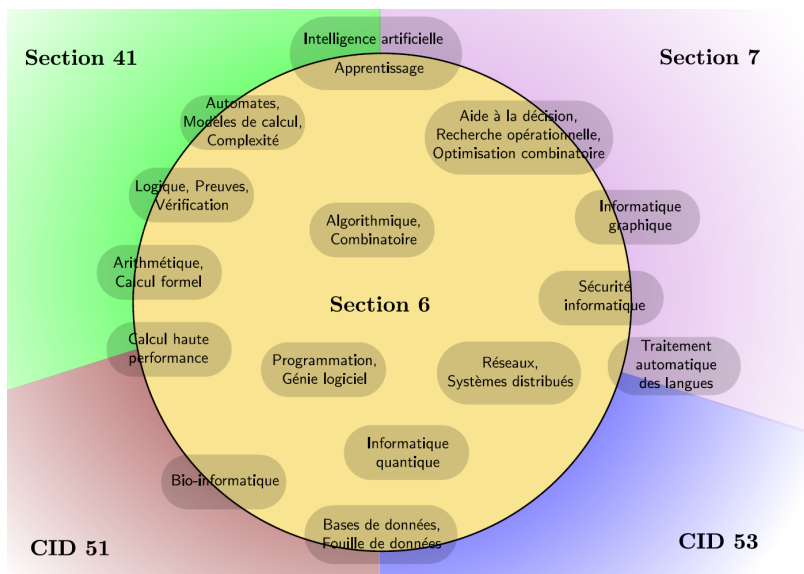


FIGURE 1. Périmètre approximatif de la section.

des rapports d'activité des chercheurs. Un chercheur peut émerger à 1, 2 ou 3 thèmes (nous nous sommes arbitrairement limités à 3). Dans les deux derniers cas il est compté respectivement 12 et 13 dans chacun des thèmes. Un chercheur de la section 6 peut aussi émerger à des thèmes hors section ;

— UMR-non-CNRS : il s'agit des (enseignants)-chercheurs permanents, membres des UMR (ainsi que des UPR, UMI, ERL) dépendant de l'INS2I et associées à la section 6, et qui ne sont pas rémunérés par le CNRS. Pour notre discipline, il s'agit très majoritairement d'enseignants-chercheurs, mais aussi par exemple de chercheurs Inria. Les données ont été extraites de l'annuaire CNRS des UMR.

Comme l'effectif total à considérer est très important (3575 personnes), nous avons tiré uniformément un sous-ensemble de 25 % des personnels, puis étiqueté thématiquement leur activité de recherche, en nous appuyant sur leurs publications et leur page personnelle décrivant leurs travaux. Comme ci-dessus, chaque chercheur peut émerger à plusieurs thèmes et donc être compté pour une fraction dans plusieurs thèmes ;

— thèses : les statistiques portent sur l'ensemble des thèses soutenues en 2017 en informatique. Nous avons utilisé l'API du site <http://theses.fr> pour

Thème	Chercheurs 6		UMR-non-CNRS	Thèses 2017	
	Nb	%	%	Nb	%
Algorithmique	31	10.2%	3.3%	18	3.1%
Combinatoire	37	12.2%	3.9%	24	4.1%
Arithmétique, calcul formel	11	3.6%	2.3%	5	0.9%
Calcul haute performance, calcul parallèle	9	3.0%	7.0%	32	5.5%
Automates, Modèles de calcul, Complexité	26	8.6%	2.6%	9	1.5%
Preuve, vérification, théorie de la programmation	46	15.6%	10.5%	31	5.3%
Sécurité informatique	16	5.3%	4.4%	47	8.1%
Génie de la programmation, génie logiciel	7	2.3%	10.0%	56	9.6%
Réseaux, systèmes distribués	15	5.0%	12.1%	90	15.5%
Données et connaissances	16	5.6%	16.8%	106	18.2%
Intelligence artificielle	28	8.9%	11.4%	77	13.3%
Recherche opérationnelle, aide à la décision	24	7.9%	10.2%	47	8.1%
Bio-informatique	27	8.9%	2.6%	21	3.6%
Informatique quantique	7	2.3%	0.7%	2	0.3%
Autres (section 6)	2	0.7%	2.3%	16	2.8%
Hors section 6	2			292	
<b>Total</b>	<b>305</b>			<b>874</b>	

FIGURE 2. Répartition thématique des chercheurs de la section 6, des membres des UMR rattachées à la section et des thèses en informatique. Un échantillon d'un quart des personnels est considéré, comptage par fractions pour l'appartenance à plusieurs thèmes.

recupérer l'ensemble des thèses soutenues en informatique et dans des disciplines voisines, et effectué une analyse manuelle des thèses soutenues durant cette année-là. 292 thèses étiquetées « informatique » (sur 874) ne relèvent pas de la section. Il y a bien sûr des thèses en traitement automatique des langues, en interaction homme-machine, etc. qui relèvent de la section 7. Mais, surtout, il y a beaucoup de ces thèses qui relèvent des mathématiques appliquées, voire d'autres disciplines très différentes (biologie, physique, sciences sociales...) pour lesquelles l'informatique n'est qu'un outil.

Dans tous les cas, les totaux peuvent différer légèrement de l'effectif total, à cause

du cumul des erreurs d'arrondi. Soulignons aussi que l'étiquetage manuel requiert des interprétations qui peuvent parfois être contestables.

### *Liens avec les autres disciplines*

L'informatique est naturellement présente, sur le versant applicatif, dans de nombreux domaines frontières avec les autres disciplines. L'informatique entretient aussi des liens forts avec les mathématiques : souvent des candidats sont admissibles à la fois en section 6 et en section 41, typiquement, en cryptographie, en calcul formel, logique informatique, combinatoire, etc. Jusque récemment, le CNRS proposait des postes croisés.

### **CID 51 : Modélisation, et analyse des données et des systèmes biologiques : approches informatiques, mathématiques et physiques**

Des chercheurs à l'interface entre informatique et biologie, et dont les thématiques de recherche relèvent explicitement de la section 6, sont régulièrement recrutés par la CID 51. La production massive de données biologiques dans les domaines de l'agronomie, de l'environnement ou de la santé, par exemple, devrait encore renforcer les liens avec la section sur des thématiques telles que la science des données, le calcul haute performance et la sécurité.

### **CID 53 : Méthodes, pratiques et communications des sciences et des techniques**

Les liens entre l'informatique et les sciences humaines et sociales alimentent des problématiques de recherches traitées en CID 53, dont le comité comporte deux chercheurs de la section 6. Actuellement, 3 chercheurs (2 CR et 1 DR) sont rattachés à la fois à la section 6 et à la CID 53. Parmi les candidats à cette CID, des chercheurs abordent des problématiques en lien avec l'informatique comme éthique, droit et traitements de données individuelles (de santé, de réseaux sociaux); sciences cognitives et formalisation du raisonnement ou des comportements individuels et collectifs, humanités numériques (traitements massifs de données de la recherche en SHS : textes, données, images, etc.), étude des réseaux sociaux, philosophie des sciences, science et société, enjeux sociaux des nouveaux systèmes informatiques (objets connectés, robotique et assistants intelligents, exploitation de données et surveillance) ou encore analyse du langage naturel (en lien avec la section 7).

### **Informatique quantique**

L'informatique quantique est un domaine dans lequel des compétences en physique et en informatique sont nécessaires. Chaque année, la section considère des candidatures de physiciens. L'un d'eux a été recruté en 2017.

Hommes	247		81.5%							
Femmes	56		18.5%							
	CR		DR							
Hommes	150	83.3%	97	78.9%						
Femmes	30	16.7%	26	21.1%						
	CRCN	CRHC	DR2	DR1	DRCE					
Hommes	146	83.9%	4	80%	63	80.8%	29	72.5%	5	100%
Femmes	29	16.1%	1	20%	15	19.2%	11	27.5%	0	0%

FIGURE 3. Effectifs par genre en section 6.

	Année de recrutement						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Femmes recrutées CR sec. 6 (nb)	3	2	2	3	3	2	3
Femmes recrutées CR sec. 6 (%)	25%	20%	25%	27%	21%	20%	30%

FIGURE 4. Recrutements CR récents en section 6, par genre.

	2017	2018	2019
Femmes candidates DR (%)	9.5%	13.6%	10.8%
Femmes recrutées DR (%)	16.7%	28.6%	25%

FIGURE 5. Statistiques par genre du concours DR.

### 3. La place des femmes

La figure 3 donne les effectifs par grade et genre des chercheurs en activité dans la section 6, au 1<sup>er</sup> janvier 2019. On observe une très faible proportion de femmes. En revanche, il ne semble pas y avoir de phénomène de « plafond de verre » dans la section puisque la proportion de femmes DR est supérieure à la proportion de femmes CR.

Cette analyse est confirmée par la figure 4, qui montre la proportion de femmes recrutées sur les concours récents : le taux de femmes recrutées reste toujours supérieur au taux de femmes dans la section. Les figures 3 à 5 montrent ainsi que les carrières des femmes ont tendance à être légèrement plus rapides que celles des hommes en section 6.

Pour aider à analyser le faible nombre de femmes dans la section, la figure 6 donne le ratio de femmes dans les UMR associées à la section (et dont les thèmes

	Section 6	UMR-non-CNRS	Thèses (2017)	Candidatures CR		
				2017	2018	2019
Femmes	18.5%	23.1%	25.3%	17.1%	15.9%	10.7%

FIGURE 6. Place des femmes dans la recherche sur les thèmes couverts par la section 6.

de recherche relèvent de la section 6), le ratio des thèses en informatique soutenues par des femmes (en 2017, sur des thèmes relevant de la section) et la proportion de candidatures de femmes aux concours CR ces trois dernières années (à nouveau restreinte aux thèmes de la section).

Nous observons donc d'une part que les femmes (en section 6) sont moins bien représentées au CNRS que dans l'enseignement supérieur. Nous observons aussi un net aggravement de la situation, puisque de moins en moins de femmes se portent candidates. Soulignons en particulier que seulement 10.7 % des candidatures relevant de la section sont des candidatures de femmes en 2019, alors que 25.3 % des thèses relevant de la section en 2017 sont soutenues par des femmes.

## 4. Évolution thème par thème

### *Algorithmique*

Les algorithmes sont parmi les objets centraux de l'informatique. S'attachant à leur conception, leur analyse et leur étude, l'algorithmique se retrouve donc dans tous les domaines couverts par la section 6. La conception et l'optimisation des ressources utilisées (temps, nombre de requêtes, encombrement, énergie, etc.) comportent un volet de mise en évidence de nouveaux paradigmes algorithmiques. Les interactions de la discipline avec les mathématiques sont fondamentales en particulier par le biais de la géométrie, de l'algèbre, de la logique et de la topologie (par exemple, l'étude des propriétés structurelles des algorithmes eux-mêmes). Les interactions avec la biologie sont également marquantes, par exemple en assemblage d'ADN et pour la modélisation du vivant. L'étude des modèles non classiques (c.-à-d. non discrets) ouvre actuellement un champ d'investigation important. L'algorithmique quantique devrait prendre plus d'ampleur. L'impact sur les autres sciences, la sécurité, la massification des données et les questions énergétiques révèlent des enjeux formidables. Au sein du GdR IM, l'algorithmique est spécifiquement étudiée au sein du GT CoA dont la composition montre de vastes connexions avec d'autres domaines. On observe que la majorité de chercheurs répertoriés dans le thème (voir figure 2) sont aussi associés à un autre thème et ne sont donc comptés que pour une

fraction. Le nombre de chercheurs ayant une composante algorithmique dans leurs recherches est donc très supérieur à ce qui est indiqué dans la figure 2.

### ***Combinatoire***

Ce thème couvre l'étude des familles d'objets discrets et se décline en combinatoire algébrique, combinatoire énumérative, combinatoire des mots, et théorie des graphes. Les problèmes rencontrés proviennent en grande partie de l'informatique : structures de données, calculabilité, complexité et analyse d'algorithmes. Les interactions sont très riches en bioinformatique, avec la physique et avec de nombreuses parties des mathématiques (géométrie, algèbre, théorie des nombres). La thématique se retrouve principalement au sein du GdR IM. Les sujets d'actualité concernent la convergence d'objets aléatoires, ainsi que la combinatoire des cartes planaires plongées sur des surfaces de genre supérieur. La théorie structurelle et algorithmique des graphes orientés doit se développer, les liens entre les méthodes paramétrées et les méthodes d'approximation représentent des enjeux importants. On peut penser que les outils d'aléa discret pourront à terme contribuer à diversifier les angles d'approches pour l'étude théorique des modèles de processus de renforcement ou d'apprentissage. Autour des systèmes dynamiques, des questions importantes émergent, qui concernent notamment la tolérance au bruit. En biologie systémique symbolique, la question qui va se poser dans les prochaines années est celle du changement d'échelle dans les approches de modélisation. La combinatoire est un thème historique de l'informatique fondamentale en France, avec une grande visibilité et reconnaissance internationale. Elle est bien représentée au CNRS et on constate l'excellent niveau des candidatures aux concours.

### ***Arithmétique et calcul formel***

Les recherches autour de la manipulation informatique des objets fondamentaux de l'arithmétique, de l'algèbre et de l'analyse ont fortement évolué avec des rôles clefs en mathématiques expérimentales, cryptologie/codage et modélisation (systèmes dynamiques, géométrie & images, biologie, etc.). Les percées théoriques et pratiques ont permis de renforcer les liens avec les autres disciplines. Une évolution récente est la réponse à des enjeux de garantie sur les calculs (codes critiques, sécurité, etc.) qui s'appuie sur des validations numériques ou formelles. L'ancrage en informatique, au sein des GT Arithmétique et Calcul formel du GdR IM, permet de se confronter aux défis de : concevoir des solutions algorithmiques, logicielles et matérielles (vitesse, faible encombrement, basse consommation) de l'embarqué jusqu'aux super-calculateurs ; permettre l'amplification d'une vision hybride symbolique, certifiée et numérique du calcul scientifique, assurant robustesse des modèles et fiabilité des résultats ; tirer parti d'automatisations pour le développement et la preuve. Les liens sont nets avec le GdR Sécurité et en architecture avec le GdR SOC2. On s'attend à une accentuation des travaux en calcul haute performance et à

une ouverture vers l'informatique quantique. Au plan sociétal, en particulier avec les logiciels Maple ou SageMath, la discipline a un impact fort en formation scientifique. C'est sur l'équilibre entre l'informatique et les mathématiques dans l'enseignement, et sur les échanges entre ces deux domaines (des chercheurs sont membres d'UMR de mathématiques), que reposent la position internationale de tout premier plan de la communauté française et ses recrutements. Les chercheurs répertoriés en figure 2 sont souvent associés à d'autres thèmes de la section et sont comptés pour fraction.

### ***Calcul parallèle et distribué, calcul haute performance***

Le calcul parallèle est un thème historique de l'informatique en France présent essentiellement dans les GdR Calcul, IM, RSD et GPL. Cette thématique recouvre un large spectre allant de l'exploitation efficace d'une machine aux calculs sur des architectures massivement parallèles et hétérogènes, ainsi que distribuées telles que les *clouds*. On y retrouve des activités fortes autour du calcul numérique, des algorithmes parallèles, des modèles de programmation, et des supports d'exécution (OS et intericiel).

La communauté a connu une forte évolution thématique liée aux architectures *exascale*, à la virtualisation avec les *clouds*, à la distribution avec le *fog/edge computing*, à la nécessité de tolérance aux fautes des grandes infrastructures, et à l'arrivée des grandes masses de données et de l'apprentissage automatique en tant que consommateur de ressources et fournisseur de nouvelles approches.

La question sociétale de l'efficacité énergétique fait l'objet d'une action spécifique du GdR RSD en lien avec le GDS Ecoinfo. La communauté porte aussi des plates-formes nationales telles que Grid'5000 et maintenant SILECS (en cours de construction) qui vise à resserrer et structurer les liens entre les chercheurs en systèmes, parallélisme et réseau. Depuis 2018, les Journées calcul données (JCAD) aident à créer des liens entre les différentes communautés liées au HPC (chercheurs, utilisateurs, et centres de calcul). La politique de coloriage au concours a contribué à renforcer récemment ce thème qui reste encore peu représenté au CNRS.

### ***Modèles de calcul et complexité***

Les thématiques autour des modèles de calcul et complexité sont abordées par une large communauté de la section 6 et touchent à de nombreux autres domaines parmi lesquels l'algorithmique, la combinatoire, la logique ou encore l'informatique quantique. La discipline est transversale dans la section, en relation privilégiée avec les mathématiques au niveau des méthodes. On trouve des activités fortes sur les modèles de calcul centraux de l'école d'informatique française (automates finis, machines de Turing) et également sur des modèles moins conventionnels (automates cellulaires, auto-assemblage, algorithmique distribuée, etc.). Les développements sont toujours plus grands en direction de la modélisation et de la vérification des propriétés de systèmes de diverses natures. La thématique s'inscrit principalement

au sein du GdR IM et partage des liens étroits avec les GdR IQFA et BIM. Les défis sont nombreux ; sans vouloir être exhaustif, on peut citer :

- trouver des propriétés calculatoires des modèles et définir de nouveaux moyens d’appréhender la calculabilité adaptés aux modèles étudiés ;
- développer l’étude structurelle des classes de complexité en adoptant différents points de vue (algorithmique, algébrique, arithmétique) ;
- concevoir de nouveaux modèles de calcul tirant parti de la phénoménologie physique (calcul quantique) ou biologique (calcul moléculaire) et développer la connaissance de ceux existants.

Le domaine partage des liens privilégiés avec des disciplines telles que la physique et la biologie, à travers l’analyse des systèmes naturels complexes, et l’explication et la prédiction de certaines de leurs propriétés.

### ***Preuve, vérification, et théorie de la programmation***

La section 6 regroupe une large communauté autour de ces trois thématiques, qui entretiennent des liens forts. Les objectifs et méthodologies regroupent l’analyse et certification de systèmes et programmes (analyse statique, vérification de modèles, etc.), la preuve formelle (théorie de la preuve, démonstration automatique, assistants de preuve, etc.), et la théorie de la programmation (compilation, théorie des types, concurrence, sémantique, etc.).

Les recherches sur ces thèmes s’inscrivent à titre principal dans le GdR IM. Elles ont de fortes interactions avec le GdR GPL (en particulier autour des langages de programmation, du typage, et de la preuve de programmes), et également avec le GdR Sécurité et son GT Méthodes formelles pour la sécurité. Certains sujets sont à la frontière de la section 41, comme la théorie de la preuve et de la programmation (via le GT LHC nouvellement créé avec le renouvellement du GdR IM) ou l’homotopie et les catégories, avec le GdR Top.

On a vu ces dernières années, quelques importantes évolutions thématiques. Les aspects probabilistes prennent une importance croissante dans l’analyse des systèmes et des programmes. L’analyse de modèles et systèmes concurrents voit une ouverture vers l’algorithmique distribuée. On observe une convergence entre la théorie de la programmation (avec ses outils catégoriques, algébriques, topologiques, etc.) et celles de la vérification, des automates et de la complexité. Un intérêt émerge autour du développement de méthodes formelles pour l’apprentissage et en particulier l’apprentissage statistique. Les liens avec l’IA se renforcent en particulier via les travaux en représentation de bases de connaissances. Les assistants de preuve formelle (Coq) et outils de démonstration automatique (SAT, SMT) ont un impact croissant dans de nombreux domaines en informatique et en dehors.

Ce thème de recherche dynamique est très bien représenté, aussi bien dans les UMR (10,5 % selon notre échantillonnage) que dans la section 6 (15,6 %). Ce thème

est un point fort, aussi bien historique qu'actuel, de la section. Le vivier de candidatures aux postes CNRS est grand, et les candidats sont d'excellent niveau.

### ***Sécurité informatique***

La principale évolution structurelle récente de la section concerne la création du GdR sécurité informatique (<https://gdr-securite.irisa.fr/>) dont le but est, entre autres, de rassembler les chercheurs de ce domaine, auparavant éparpillés dans d'autres GdR : IM, GPL, SOC2, ISIS, RSD, etc.

Ce thème de recherche est globalement en expansion (plus de thèses soutenues en 2017 que de chercheurs+enseignants-chercheurs dans la figure 2<sup>3</sup>). La section 6 du CNRS est surtout présente en cryptologie (9.8 chercheurs), peu dans les 5 autres groupes de travail du GdR (moins de 7 chercheurs dans l'ensemble des autres GT). Il faut noter cependant que certains groupes de travail relèvent aussi de la section 7 : sécurité des données multimedia, sécurité des systèmes matériels.

La sécurité informatique ne doit pas être vue comme du ressort exclusif des ingénieurs, même spécialisés. Ce serait une vision de court terme dont les conséquences seraient néfastes. Les recrutements récents (et la politique de coloriage au concours) tendent à renforcer la présence du CNRS en sécurité informatique. Elle reste cependant faible, notamment en sécurité système, domaine dans lequel il y a très peu (voire pas) de candidats.

### ***Génie de la programmation et du logiciel***

Le GdR Génie de la programmation et du logiciel (GPL<sup>4</sup>) a été créé il y a maintenant dix ans. Ce domaine de recherche permet de résoudre les problèmes posés par la complexité croissante des logiciels. Il rassemble les communautés qui travaillent sur la définition, la formalisation, l'évaluation des artefacts des langages de programmation, de la compilation, de la preuve, de la modélisation, du test, de la vérification et de la validation, les approches empiriques et les outils associés pour la production logicielle actuelle et future. Quelques membres du GdR ont signé en juin 2019 un manifeste<sup>5</sup> sur l'importance de la recherche dans le domaine pour la société. Ce domaine est actif de par sa représentation en termes d'enseignants-chercheurs et de doctorants. Les enseignants-chercheurs sont très sollicités dans les départements d'enseignement des universités et des écoles d'ingénieurs pour former les futurs masters et ingénieurs en développement logiciel dont les entreprises ont tant besoin ; ceci explique le nombre d'enseignants-chercheurs recrutés sur les vingt dernières années. Par contre, le pourcentage de chercheurs dans la section est excessivement faible (2,3 % – près de 5 fois moins que la proportion d'enseignants-chercheurs), malgré

---

3. Voir aussi [https://www.allistene.fr/files/2018/03/VF\\_cartographie\\_2017-06-13.pdf](https://www.allistene.fr/files/2018/03/VF_cartographie_2017-06-13.pdf) dont les données sont collectées de manière très différente des nôtres.

4. <http://gdr-gpl.cnrs.fr/>

5. <https://gl.frama.io/manifeste/>.

un coloriage Sciences du logiciel proposé par l'INS2I depuis plusieurs années. Depuis 3 ans, 3 jeunes chargés de recherche ont été recrutés sur ce coloriage. De plus, l'année 2019 marque un tournant avec une augmentation significative du nombre de candidatures de qualité dans le domaine. Il a fallu plusieurs années pour amorcer un vivier de candidatures excellentes ; ceci s'explique en partie par les nombreuses propositions de postes à haut potentiel faites aux jeunes docteurs du domaine par l'industrie en France ou par les universités à l'étranger, par une autocensure des candidats et des équipes, mais aussi par l'absence de recrutement au CNRS sur ce thème pendant de nombreuses années.

### ***Réseaux et systèmes***

Le GdR Réseaux et systèmes distribués (RSD) existe depuis plus de 25 ans, son intitulé, ses mots clés, son organisation thématique, etc., ayant été modifiés plusieurs fois avec l'évolution de ses champs de recherche. Le GdR RSD vise à contribuer à l'animation scientifique, à la structuration, à la dynamisation, à la promotion des savoirs et à la mise en synergie de ces deux pôles de recherche fondateurs des grandes avancées et innovations dans le domaine des STIC. Le GdR RSD couvre et intègre ainsi tout un continuum thématique constitutif des systèmes communicants à large échelle susceptibles de supporter des applications critiques. La communauté RSD comporte majoritairement des enseignants-chercheurs, ces derniers étant largement présents dans les universités et écoles d'ingénieurs vu les besoins en formation de masters et ingénieurs dont l'industrie a besoin. Le flux de recrutements d'enseignants-chercheurs dans la thématique RSD dans les universités et écoles est donc soutenu pour répondre à ces besoins en formation. A contrario, le pourcentage de chercheurs de la thématique RSD dans la section fait partie des taux faibles, alors que dans l'enseignement supérieur cette discipline est la deuxième en nombre d'enseignants chercheurs, et la seconde également en nombre de doctorants (5 % au CNRS, 12,5 % dans l'enseignement supérieur et 15,5 % des docteurs). Malgré un coloriage « Objets communicants, système, réseaux », proposé par l'institut INS2I depuis plusieurs années, seulement 2 jeunes chargés de recherche dans la thématique RSD ont été recrutés ces 3 dernières années (moins d'un par an). En effet, le nombre de candidatures de qualité dans ce domaine est toujours faible. Ceci s'explique en partie par la concurrence des entreprises en France ou à l'étranger pour les jeunes docteurs du domaine mais aussi par une autocensure des candidats et des équipes liée en partie au faible nombre de recrutements au CNRS pendant de nombreuses années sur ce domaine.

### ***Données et connaissances***

Ce thème recouvre l'acquisition, la gestion et l'exploitation de données et connaissances : les bases de données, la fouille de données, les systèmes de recommandation, l'ingénierie des connaissances et le Web sémantique, la recherche

d'informations, l'analyse du Web et des réseaux complexes. Une partie de ce thème est représenté dans le GdR MaDICS sur l'interaction avec les communautés scientifiques productrices et utilisatrices de données. Ce thème est (voir figure 2) celui du plus grand nombre d'enseignants-chercheurs dans les UMR (16.8 %) et du plus grand nombre de thèses soutenues (18.2 % en 2017) parmi les thèmes de la section 6. Une partie importante de ces thèses (non précisément quantifiée) est réalisée en collaboration avec des entreprises (par exemple, thèses CIFRE) ou à l'interface d'autres disciplines scientifiques. Ce thème est sous-représenté parmi les chercheurs CNRS de la section (5.6 %); il est également sous-représenté parmi les candidats au concours, malgré l'affichage du thème « Science des données » au concours, en partie par manque d'attractivité des carrières de recherche au regard des conditions offertes par les industriels (en particulier les géants du Web), en partie par une autocensure vis-à-vis des concours CNRS.

La frontière de ce thème avec le thème « Intelligence artificielle » est parfois floue, par exemple entre fouille de données et apprentissage, ou entre Web sémantique et raisonnement sur les données. On note également des interactions avec certains thèmes de la section 7 : le traitement automatique de la langue, par exemple, relève de la section 7, tandis que la fouille de texte et la recherche d'information, qui utilisent des outils voisins, relèvent de la section 6.

### *Intelligence artificielle*

L'IA fait traditionnellement partie des mots-clés de la section 6, mais ce thème est aujourd'hui partagé par plusieurs autres sections du CNRS (7, 41, etc.). Les recherches en IA au sein de la section 6 concernent de manière historique des approches symboliques telles que la représentation des connaissances et la formalisation du raisonnement, entre autres par des modèles de graphes, la résolution de problèmes par satisfaction de contraintes, la planification et la recherche heuristique, la gestion de l'incertitude, les réseaux bayésiens, les systèmes multi-agents et la décision collective, ainsi que certains aspects de l'apprentissage automatique, en particulier l'apprentissage symbolique. Domaine particulièrement dynamique au regard du nombre de thèses soutenues, l'IA représente une part importante des chercheurs de la section, avec des chercheurs très visibles et reconnus internationalement. Une majorité de ces chercheurs se concentrent sur les aspects logiques de l'IA (15 sur 28) alors que la répartition entre les différentes thématiques est plus équilibrée parmi les thèses soutenues. Globalement, ces recherches sont impactées fortement par le succès de l'analyse de grandes masses de données à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique et particulièrement des réseaux de neurones artificiels. L'apprentissage a parfois supplanté des algorithmes exploitant des modèles logiques de connaissances, mais le défi actuel est d'utiliser au mieux leurs complémentarités, en particulier au service de l'explicabilité des systèmes et de leurs résultats. La maîtrise des analyses par apprentissage sur de grandes masses de données est un enjeu

économique et stratégique de premier plan, que les États mettent en avant par des plans nationaux depuis 2017<sup>6</sup>. Depuis 2016, la communauté est structurée grâce au GdR IA Aspects formels et algorithmique de l'intelligence artificielle, lancé courant 2018 après avoir fonctionné comme pré-GdR durant 2 ans. Ce GdR a mis en place 6 groupes de travail propres dont trois s'intéressent justement au croisement entre apprentissage et raisonnement, apprentissage et résolution de contraintes et explicabilité. Quatre autres groupes sont communs avec les GdR BIM (sur la Biologie Systémique Symbolique), IM (Informatique Mathématique), RO (Recherche Opérationnelle) et MaDICS (Masses de données).

### ***Recherche opérationnelle et aide à la décision***

La Recherche opérationnelle (RO) et l'Aide à la décision (AD) sont des disciplines hybrides, à la frontière entre mathématiques, informatique (algorithmique et intelligence artificielle), et certains secteurs du génie industriel et de droit-économie-gestion (DEG), e.g. l'économétrie. La RO/AD offre clairement des points d'intersection avec les thématiques générales identifiées sous les étiquettes MOA(Optimisation)/Jeux de l'INSMI, Aide à la décision de l'INSHS et, au sein de l'INS2I et avec la section 7, autour des thématiques liées à la robotique et aux systèmes automatisés. Le caractère pluri-disciplinaire et appliqué de la RO/AD pénalise parfois sa reconnaissance par des instances académiques. Néanmoins, le principal point fort de la RO/AD reste son ancrage au sein du monde socio-économique : discipline hybride, la RO/AD est naturellement proche du monde des entreprises. L'émergence des nouvelles technologies autour de la mobilité, des systèmes de production, des communications induisent des prises de décision de plus en plus réactives, implémentées dans un contexte d'incertitude au travers d'architectures de communications complexes et de nature souvent collaborative. Elles tendent à poser des questions théoriques, algorithmiques et logicielles sensiblement nouvelles, souvent entre le niveau décisionnel système et le niveau embarqué, et à susciter de nouvelles déclinaisons de la notion d'approximation, mettant en jeu des systèmes à base de règles ou d'apprentissage supervisé. La figure 2 montre que, pour la RO, la proportion des chercheurs CNRS/enseignants-chercheurs des UMR est en accord avec la proportion globale. L'historique des recrutements au CNRS montre un recrutement régulier au cours de ces dernières années.

### ***Bio-informatique***

La bioinformatique rassemble différents domaines scientifiques (bio, math, info) et cherche à améliorer la compréhension du vivant à partir des données morphologiques et moléculaires. Le GdR BIM structure cette communauté. La section 6 est bien représentée et participe activement avec 8.9 % des chercheurs répartis dans 20

6. <https://medium.com/politics-ai/an-overview-of-national-ai-strategies-2a70ec6edfd>.

UMR affiliées principalement à l'INS2I. L'évolution très rapide des technologies de séquençage et l'acquisition massive et automatisée de données, place les STIC au coeur de cette discipline. Ces données ont de fortes spécificités : elles sont massives, hétérogènes, multi-échelles et interdépendantes. Les domaines concernés par la section couvrent principalement l'algorithmique, la combinatoire, les bases de données, la théorie des systèmes dynamiques, la représentation des connaissances, l'apprentissage, les méthodes formelles et la modélisation de systèmes biologiques complexes. Les principaux enjeux des années futures sont : (1) la santé numérique, (2) la génomique environnementale et la biodiversité, (3) la gestion et l'intégration des données massives. Ils devraient renforcer des interactions avec nos thématiques comme, par exemple, la cryptographie homomorphe pour la gestion sûre des données patient, l'algorithmique parallèle pour traiter les grands projets métagénomiques, ou l'IA et l'apprentissage automatique pour identifier des signaux biologiques d'intérêt dans des données massives et bruitées.

### ***Informatique quantique***

La communauté de recherche autour de l'informatique quantique est structurée au niveau national par le groupe de travail Informatique quantique du GdR IM (GT-IQ) et le GdR Ingénierie quantique (IQFA), et en région parisienne par la fédération de recherche PCQC. Le GT-IQ est à l'intersection de l'informatique quantique et des thématiques de la section 6, ce qui concerne les recherches en algorithmique, cryptographie et méthodes formelles afin de comprendre les capacités, les limites et l'utilisation de ce modèle de calcul émergent. Le CNRS a su être précurseur dans ce domaine avec une implication forte (cf. figure 2), à noter cependant un seul recrutement de chercheur dans ce domaine dans la section depuis 2009. Le GdR IQFA est plus large et regroupe physiciens et informaticiens du domaine des technologies quantiques, avec une large majorité de physiciens. L'informatique quantique est un domaine en plein développement avec notamment le flagship de l'UE sur les technologies quantiques et aussi l'implication d'acteurs industriels. L'arrivée des NISQ (*Noisy Intermediate Scale Quantum computers*) ouvre des perspectives immenses et aussi des problématiques nouvelles sur l'utilisation et la vérification de l'ordinateur quantique.

## **5. Le recrutement et les carrières des chercheurs**

### ***Mobilité sortante***

Nous n'avons pas de statistiques sur la durée concernant la mobilité sortante, les détachements et disponibilités. Ceci est dû entre autres au fait que la section n'existe que depuis 8 ans. Néanmoins, nous constatons que, au 1<sup>er</sup> janvier 2019, 41 chercheurs sont en détachement ou disponibilité. Ces 41 chercheurs n'ont pas été pris en compte dans les statistiques précédentes. Il s'agit d'une proportion importante de

< 1999	1999 - 2002	2003 - 2006	2007 - 2010	2011 - 2014	2015 - 2018
1	2	3	4	17	14

FIGURE 7. Année de première demande de détachement.

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
4	20	17	6	9	18	14	19	14	15
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
9	12	12	10	8	11	14	10	10	8

FIGURE 8. Chercheurs en activité en section 6, par année de recrutement.

l'effectif : 12 %. Nous donnons à titre indicatif dans la figure 7 une répartition de cet effectif par année de première demande de détachement ou disponibilité.

Par ailleurs, parmi les chercheurs examinés par la section durant son début de mandat (en principe, ceci concerne la totalité des chercheurs de la section puisqu'il y a une évaluation tous les 2,5 ans), nous avons observé très peu de cas de chercheurs revenus dans la section après un détachement ou disponibilité. On ne peut que conjecturer, au vu de la figure 7, qu'en moyenne 4 nouveaux détachements sont demandés chaque année et donc qu'en moyenne au moins 4 chercheurs quittent la section chaque année, en plus des départs à la retraite. Ceci doit être complété par les autres départs (définitifs), par exemple vers l'enseignement supérieur.

### **Concours de recrutement CR**

La figure 8 rapporte le nombre de chercheurs actuellement en activité dans la section 6, par année de recrutement. Bien que la section, dans son périmètre actuel, n'existe que depuis moins de 10 ans, ce tableau donne les recrutements de chercheurs dont l'activité relève aujourd'hui de la section 6 et donne donc un panorama fidèle de l'évolution des recrutements dans la section.

On observe une très nette diminution des recrutements durant la dernière décennie (environ moitié moins de recrutements). Ceci s'observe aussi sur la pyramide des âges (figure 9) : on observe un pic autour de 36 – 40 ans, alors que, comme nous le voyons dans la figure 10, l'âge moyen de recrutement est inférieur à 31 ans.

### **Âge/Ancienneté des chercheurs recrutés en section 6**

L'âge n'est cependant pas une donnée pertinente (et n'est pas pris en compte dans le recrutement). L'ancienneté en recherche est une mesure plus pertinente : elle est appréciée comme le nombre d'années consacrées à la recherche, thèse et

	< 31	31 - 35	36 - 40	41 - 45	46 - 50	51 - 55	56 - 60	> 60
Total	14	39	67	60	47	35	28	13
CR	14	39	59	32	14	11	7	4
DR	0	0	8	28	33	24	21	9

FIGURE 9. Pyramide des âges en section 6.

Âge	< 28	28 - 31	32 - 35	> 35
Proportion (2012 - 2016)	9%	56%	26%	9%
Proportion (2017 - 2018)	10%	60%	30%	0%

FIGURE 10. Âge des chercheurs lors de leur recrutement comme CR en section 6.

Ancienneté en recherche (thèse comprise)	4	5	6	7	8	9	10	> 10
2017	2	7	4	5	1	0	2	1
2018	2	7	3	6	2	1	1	0
2019	2	5	3	2	1	1	0	0
Total	6	16	11	13	4	2	3	1

FIGURE 11. Ancienneté en recherche des candidats admissibles aux concours CR, évaluée au moment de leur possible recrutement.

éventuels stages pré-doctoraux compris. 2 Avec cette mesure, la figure 11 rapporte l'ancienneté, évaluée au moment d'un recrutement éventuel, des candidats déclarés admissibles par le jury. Elle montre la volonté du jury de privilégier les recrutements de chercheurs dont l'ancienneté est inférieure à 7 ans. Le tableau montre aussi que la fusion des grades CR2 et CR1 a eu pour conséquence un abaissement de l'ancienneté moyenne en recherche des chercheurs recrutés.

### Nombre de candidatures

La figure 12 rapporte le nombre de candidatures et le nombre de candidats ces 3 dernières années. Le nombre de candidatures totalise les candidatures CR1 et CR2 quand la distinction existait, mais n'inclut pas les concours spécifiques (car en général les candidats sur les concours spécifiques sont aussi candidats sur le concours général). Comme il peut y avoir des candidats à la fois sur un concours CR2 et un concours CR1, quand c'est possible, nous indiquons le nombre total de candidats (donc inférieur au nombre de candidatures). Le nombre de postes en revanche tient compte de tous les concours CR.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nombre de candidats					139	119	115
Nombre de candidatures	213	220	159	154	158	119	115
Retenus pour audition		90	63		40	37	32
Admissibles	21	20	21	17	22	22	16
Postes aux concours	7	8	8	9	8	11	8

FIGURE 12. Nombres de candidats et candidatures aux concours CR en section 6.

	2017	2018	2019	Total
Amérique du Nord	19	6	4	29
Amérique du Sud	3	5	4.5	12.5
Asie	0	4	4.5	8.5
Europe hors UE	11	3	2	16
Océanie	0	2	1	3
Union Européenne	39.5	32	15.5	87
Total hors France	72.5	52	31.5	156
France	126.5	80	82.5	289

FIGURE 13. Origine des thèses des candidats CR.

### Candidatures d'étrangers

La figure 13 rapporte les lieux de thèse des candidatures ces trois dernières années. Les thèses en co-tutelle peuvent entraîner des nombres fractionnaires<sup>7</sup>. La figure 14 donne les statistiques du concours pour les candidats ayant soutenu une thèse hors de France. Ces tables indiquent une forte baisse du nombre de candidats étrangers. Ceux-ci réussissent en revanche plutôt bien le concours, mais le nombre de démissions est plus important.

### Répartition thématique des candidats et politique d'affichage des thèmes prioritaires

L'institut a mené ces dernières années une politique volontariste d'affichage de thèmes prioritaires pour le recrutement. La figure 15 indique la répartition des candidats par thème prioritaire (ou hors de thèmes prioritaires).

7. Les candidatures multiples, soit sur plusieurs concours, soit plusieurs années consécutives sont comptées plusieurs fois. Par ailleurs, les totaux peuvent être inférieurs au nombre de candidatures, à cause de certaines informations manquant au moment de l'écriture de ce rapport.

	Candidatures	Auditionnés	Admissibles	Recrutés (en 06)
2017	36.4%	45.0%	45.4%	37.5%
2018	39.4%	29.7%	31.8%	18.0%
2019	27.6%	28.1%	18.8%	12.5%

FIGURE 14. Succès aux concours CR des candidats ayant soutenu une thèse à l'étranger.

	2017	2018	2019
Réseaux et systèmes	9	12	8
Science des données	16	9	
Calcul parallèle et haute performance <sup>a</sup>		6	5
Sciences du logiciel	7	8	7
Sécurité informatique <sup>b</sup>	13	9	4
Intelligence artificielle <sup>c</sup>			7
Tous les thèmes prioritaires	39	42	35
Hors thèmes prioritaires	81	77	80
Total candidats <sup>d</sup>	120	119	115

FIGURE 15. Candidats sur des thèmes prioritaires aux concours CR généralistes.

<sup>a</sup>sauf 2017

<sup>b</sup>hors cryptologie pour 2019

<sup>c</sup>seulement 2019

<sup>d</sup>Comme certains candidats émargent à plusieurs thèmes prioritaires, le total des candidats sur au moins un thème prioritaire est strictement inférieur à la somme des candidats sur chacun des thèmes prioritaires.

Ancienneté (années)	0	1-5	6-8	9-11	12-14	15-17	18-20	> 20
Effectif	11	4	16	36	26	12	7	6

FIGURE 16. Ancienneté au CNRS lors du recrutement DR2.

### **Promotions**

Les figures 16 et 17 donnent respectivement les délais pour les passages aux grades DR2 et DR1. Le délai 0 correspond à un recrutement directement dans le grade.

### **Répartition géographique des chercheurs de la section**

La figure 18 rapporte l'effectif des chercheurs rattachés à la section 6 dans les

Ancienneté (années)	0	1 - 4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 16	> 16
Effectif	2	0	13	13	5	5	1

FIGURE 17. Ancienneté dans le grade DR2 lors d'une promotion DR1.

Unité	IRIF Paris C	LaBRI Bordeaux	LAAS Toulouse	LIP Lyon	IRIT Toulouse	LIP6 Paris C	LIRMM Montpellier	LIX Paris S
Effectif	24	23	17	17	16	16	16	16
Unité	LIG Grenoble	IRISA Rennes	LORIA Nancy	LRI Paris S	G-SCOP Grenoble	I3S Nice	LIGM Paris E	LSV Paris S
Effectif	13	12	11	10	8	8	8	8
Unité	CRIStAL Lille	LAMSADE Paris C	LIPN Paris N	DI ENS Paris C	CRIL Lens	LS2N Nantes	VERIMAG Grenoble	
Effectif	7	7	7	6	4	4	4	

FIGURE 18. Répartition des chercheurs de la section dans les unités ayant au moins 4 chercheurs.

laboratoires ayant au moins 4 chercheurs de la section, avec la localisation géographique de chaque unité (pour la région parisienne, nous distinguons Paris Centre, Paris Est, Paris Nord, Paris Sud).

## 6. Conclusion

Les points saillants de ces statistiques sont d'une part la baisse alarmante des candidatures féminines et d'autre part le faible nombre de postes au concours : pour que la section 6 (informatique) conserve un effectif constant, il faudrait entre 11 et 14 recrutements par an, bien au-delà des postes mis au concours<sup>8</sup>.

La discipline a beaucoup d'opportunités pluri-disciplinaires, qui doivent alimenter la recherche cœur de métier. Parmi les thèmes émergents qui alimentent les recherches dans la discipline : exploitation de masses de données, respect de la vie privée, prise en compte de la consommation d'énergie, distribution massive de données et de programmes, explicabilité de l'IA, ordinateurs quantiques, etc. L'évolution rapide des technologies présente de nouveaux défis à la discipline, qui alimentent les recherches du périmètre actuel de la section, qui n'a sans doute pas vocation à évoluer significativement.

8. Cette estimation est obtenue en divisant le nombre de membres de la section par le temps moyen qu'un chercheur reste dans la section. Ce dernier chiffre ne peut pas être calculé de manière précise en l'absence de statistiques sur le long terme ; il est compris entre 23 ans et 28 ans.



# Entretien avec Anne-Cécile Orgerie, médaille de bronze du CNRS

réalisé par Olivier Baudon<sup>1</sup> et Francine Krief<sup>2</sup>

---



*Anne-Cécile Orgerie est chargée de recherche au CNRS, affectée à l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (IRISA) de Rennes au sein de l'équipe Myriads. Elle a obtenu la médaille de bronze du CNRS au titre de l'INS2I en 2020. Son principal domaine de recherches est l'efficacité énergétique dans les systèmes distribués, l'informatique dématérialisée, les réseaux et les réseaux électriques intelligents (smart grids). Elle fait également partie de l'équipe de direction du groupement de services (GdS) EcoInfo soutenu par l'INS2I (informatique) et l'INEE (écologie et environnement).*

O. Baudon, F. Krief, 1024 : « *Peux-tu, tout d'abord, nous rappeler ton parcours ?* »

A.-C. Orgerie, A.-C. O. : Après un master et un doctorat au département informatique de l'ENS Lyon, j'ai effectué un post-doctorat à l'université de Melbourne avant d'intégrer le CNRS comme chargée de recherche en 2012, au sein de l'équipe Myriads à l'IRISA. Mon sujet de thèse était *An Energy-Efficient Reservation Framework for Large-Scale Distributed Systems*, thèse effectuée au laboratoire de l'informatique du parallélisme (LIP-Lyon), sous la direction d'Isabelle Guérin Lassous et Laurent Lefèvre.

---

1. Université de Bordeaux.

2. Enseirb-Matmeca.

1024 : « *Tu as donc choisi l'informatique sans vraiment savoir ce que c'était ?* »

A.-C. O. : Pendant les classes préparatoires, j'ai eu l'occasion de travailler sur les tris, les arbres et de programmer en CAML, et cela m'a plu. Mais c'est vrai que cela ne montre pas la diversité de l'informatique.

1024 : « *Ton sujet de thèse concernait déjà l'économie d'énergie ?* »

A.-C. O. : Oui. C'était sur les systèmes distribués, sur les grilles de calcul. La notion de *cloud* n'existait pas encore vraiment, elle est apparue pendant ma thèse. Il y avait déjà de la virtualisation, mais pas dans des systèmes à grande échelle comme on les connaît actuellement.

1024 : « *Tu as fait toute ta recherche sur les réseaux et plus particulièrement sur la consommation d'énergie ?* »

A.-C. O. : Non, en Australie, j'ai travaillé sur des sujets très différents, plutôt sur le traitement du signal dans les réseaux, et on s'intéressait à avoir des systèmes d'horodatage peu chers et très fiables (de l'ordre de la micro-seconde) avec des horloges logicielles utilisant des antennes GPS.

1024 : « *J'ai pu voir que tu étais considérée comme une pionnière dans le domaine du grid computing ?* »

A.-C. O. : Je ne sais pas comment définir la notion de pionnière. C'est vrai qu'en France, on était parmi les premiers à s'intéresser à ces questions et c'était assez amusant car on était parmi les premiers à mettre des wattmètres sur notre plateforme et la réaction a été : « Attention, si vous mettez des wattmètres, après, on va savoir combien on consomme et on va nous demander de payer l'électricité ». C'est dire à quel point il y avait du chemin à faire ! Quand on a commencé, on n'avait pas d'idée sur ce qu'on allait trouver comme résultats. On voulait réduire la consommation, mais il fallait d'abord commencer par la mesurer.

1024 : « *Tu viens d'obtenir la médaille de bronze pour l'ensemble de tes travaux. Comment décrirais-tu l'originalité de ton travail ?* »

A.-C. O. : Quelque chose qui me tient à cœur (mais je ne sais pas si c'est original), c'est de commencer par mesurer et de voir en vrai ce qui se passe, puis comparer à des évaluations faites par d'autres. J'aime bien comprendre jusque dans le détail comment cette électricité est consommée, utilisée, réaliser des mesures pour en faire des modèles. Comme ce sont de grandes infrastructures, on ne peut pas tout mesurer, mesurer tout Google, tout Facebook, tout Internet. Avec ces mesures réelles, on regarde vraiment sous le capot comment ça marche, pour faire des modèles à plus large échelle, des modèles qu'on valide, que l'on implémente dans des simulateurs. Et derrière cela, proposer des algorithmes, des stratégies, des protocoles qui soient plus économes en énergie. Donc vraiment aller de bout en bout, depuis la mesure jusqu'à des solutions.

1024 : « *Dirais-tu que tu fais de la recherche appliquée ?* »

A.-C. O. : Oui, dans ce sens-là, c'est appliqué. On cherche à cibler des applications réelles, des utilisations réelles, des systèmes réels.

1024 : « *J'ai vu un projet Momentum sur les grilles électriques. C'était sur le fait de rajouter de l'intelligence. Est-ce que tu penses que pour ce domaine de recherche, on a aussi besoin de l'intelligence artificielle pour avancer ?* »

A.-C. O. : J'ai deux réponses sur ce sujet. Le projet RI/RE est un projet Momentum financé par le CNRS. C'est un projet qui n'est pas encore terminé. Il y a plein de systèmes actuellement, les systèmes *smart*, où l'on rajoute de l'intelligence pour les optimiser. L'intelligence, c'est de l'informatique : ça peut être de l'IA, des capteurs, pleins de choses qui touchent à la science informatique et à ses technologies, des algorithmes, des équipements informatiques. Et jamais, on ne se pose les questions « ces outils d'optimisation, combien coûtent-ils ? ». Et par rapport à ce qu'ils optimisent, est-ce que ça vaut le coup ? ». Un exemple simple : dans un bâtiment intelligent (*smart building*), on va rajouter des capteurs pour consommer moins d'eau, de chauffage, mais on ne va pas regarder combien coûtent tous ces capteurs, le serveur qui traite toutes ces données, les algorithmes d'IA, et plus généralement l'impact du cycle de vie des équipements. Ce que j'essaie de faire dans le projet RI/RE, en collaboration avec des collègues en génie électrique, en informatique et en simulation notamment, c'est de voir, sur le cas des réseaux électriques intelligents, avec les compteurs électriques intelligents (Linky), si cela valait le coup de déployer toutes ces technologies ? Est-ce que cela ne coûte pas plus cher, est-ce que cela permet vraiment d'économiser des choses, ou de flexibiliser la gestion ? Il y a plein de métriques de performance côté génie électrique : flexibiliser la demande, intégrer plus d'énergie renouvelable... Et, quel est le résultat de l'analyse finale, gain versus coût, avantages ou inconvénients d'un point de vue énergétique et plus généralement quel est l'impact global ?

La deuxième réponse concernant RI/RE par rapport à l'IA est donnée, par exemple, par les travaux que l'on a fait sur les grilles de calcul, au tout début, pendant ma thèse. On a essayé de prédire l'utilisation de ces grilles de calcul pour pouvoir éteindre les ressources. Un des gros problèmes de ces ressources informatiques (serveurs, routeurs), c'est qu'elles n'ont pas une consommation proportionnelle à leur activité. Lorsqu'elles sont très peu utilisées, elles sont très gourmandes en énergie. Et donc, un des principaux leviers pour économiser de l'énergie, c'est de les éteindre quand elles ne sont pas utilisées. Sur les grilles de calcul, on a essayé d'éteindre les ressources entre les travaux de calcul qui étaient lancés. Un serveur, cela prend tout de même quelques minutes pour être rallumé et donc, pour qu'il n'y ait pas d'impact sur les utilisateurs, on a essayé de prédire quand ils allaient être utilisés. Pour ça, on aurait pu lancer des algorithmes d'IA. En fait, on a lancé des algorithmes très simples basés sur les statistiques des jours précédents et cela

suffisait largement pour être suffisamment réactif et rallumer les ressources au bon moment. Peut-être que l'IA permettrait des gains, mais très souvent, le modèle d'utilisation est suffisamment simple pour que l'on n'ait pas besoin d'avoir recours à des algorithmes aussi complexes et coûteux en énergie.

1024 : « *Tu considères que tes recherches sont plutôt côté réseau ou côté système ?* »

A.-C. O. : C'est la grande question (sourire) ! J'ai toujours été à cheval sur les deux, avec des contributions plus larges quand même en système même si je publie dans les deux communautés. Au niveau système, cela va du HPC jusqu'aux systèmes virtuels de type *Cloud* ou *Fog*.

1024 : « *Cela doit être une satisfaction d'avoir débuté sur un sujet de recherche spécifique, alors que maintenant, on ne peut plus concevoir de nouvelles architectures de communication, comme la 5G par exemple, sans prendre en compte la composante économie d'énergie. Comment analyses-tu cette évolution ?* »

A.-C. O. : Effectivement, il y a de l'espoir. Quand on a commencé, c'était original, peu de gens prenaient en compte l'énergie. C'était surtout le coût à la mise en place qui comptait, le coût de l'énergie était seulement un petit peu pris en compte dans le coût de l'électricité mais je ne suis pas totalement optimiste : il reste du travail. Pour la 5G, par exemple, il y a eu le souci d'être plus efficace en énergie que les technologies précédentes, mais on est encore très loin de ce qu'il aurait fallu faire.

1024 : « *C'est un sujet qu'on ne peut pas ignorer. Et que conseillerais-tu de regarder en premier à quelqu'un qui veut se lancer dans ce domaine aujourd'hui ?* »

A.-C. O. : En effet, c'est un grand espoir de voir qu'il y a de plus en plus de gens qui s'y intéressent. Dans les conférences, on voit de plus en plus de collègues qui se posent ces questions, avant de produire un nouvel algorithme, un nouveau protocole. Si on ne se pose pas la question dès le début, dans le cahier des charges, ça ne marche pas. C'est un gros point positif.

Mais, il y a aussi les effets de mode. Il y a des vagues, des creux... J'espère que cela ne va pas être le cas pour l'économie d'énergie, l'impact environnemental. J'espère que cela va continuer car c'est quelque chose qui doit être pris en compte sur le long terme. On ne peut pas se relâcher. Si quelqu'un veut se lancer, il y a beaucoup de progrès à faire. Je parlais de la proportionnalité énergétique : il y a beaucoup de chemin à faire, en allant du matériel au logiciel. La deuxième chose, c'est qu'on voit qu'il y a un facteur d'accélération avec de plus en plus de réseaux, de plus en plus de données, d'empilements de protocoles. On parle de la 5G, mais la 2G, la 3G et la 4G continuent. Il faut donc réfléchir à aller vers le « moins » plutôt que de proposer une nouvelle technologie qui est dans le « plus ». En effet, plutôt que de trouver des technologies qui ont moins de latence, plus de débit, plus d'utilisateurs, plus d'applications ; essayons de trouver des technologies qui travaillent par intermittence, qui

peuvent travailler sur des énergies renouvelables intermittentes et des schémas où on consomme moins, avec moins de données...

1024 : « *Prendre plus en considération les énergies renouvelables, c'est quelque chose qui te paraît important ?* »

A.-C. O. : Ce qui me paraît important, c'est de réduire globalement l'impact. Et il y a plusieurs choses à faire. Je parlais de l'efficacité. La proportionnalité énergétique, c'est de l'efficacité. C'est une première chose que l'on peut mettre en place, avec les technologies actuelles, sans déployer de nouvelles choses. Il y a l'aspect électricité provenant d'énergies renouvelables, car l'électricité est la principale énergie utilisée pour l'informatique. Il y a également l'aspect sobriété : faire des applications moins gourmandes, des services internet moins gourmands en données, en réseau, allonger la durée de vie des équipements. Ça permettrait aussi de gagner sur l'impact.

1024 : « *Est-ce que c'est vraiment vers cela que l'on va ? Je pense en particulier aux données que l'on essaie de récupérer, de mettre en périphérie. On parle d'apprentissage fédéré. Je n'ai pas l'impression que l'on aille vers « moins de données » ?* »

A.-C. O. : C'est pour cela que je ne suis pas aussi optimiste. Dans toute cette production de données, il va falloir qu'on se pose la question de « comment va-t-on les stocker, les traiter ? ». Et, est-ce que cela « vaut » l'énergie qu'on y consacre ?

1024 : « *Comment trouves-tu ton métier ?* »

A.-C. O. : Enthousiasmant, même si avec le confinement, c'est un peu moins drôle. Mais, c'est vraiment passionnant d'essayer des choses qu'on imagine. C'est aussi hyper-interactif. On travaille beaucoup avec les collègues, en confrontant les idées, les points de vue.

1024 : « *Il y a aussi de la pluridisciplinarité ?* »

A.-C. O. : Tout à fait.

1024 : « *Donc, quelqu'un qui commence doit élargir son champ de compétences, pour pouvoir résoudre ces problèmes d'économie d'énergie, en regardant les aspects liés, par exemple, à l'électricité ? Est-ce que c'est une nécessité dans ce domaine ?* »

A.-C. O. : Je pense, effectivement, qu'on peut rentrer par un domaine et en apprendre d'autres, mais ça prend beaucoup de temps. Quand on parle d'impacts environnementaux, moi j'ai regardé plutôt la partie utilisation, donc l'électricité. Je me suis donc rapprochée de mes collègues en génie électrique. Mais, on peut aussi prendre cela sous beaucoup d'autres aspects. Par exemple, faire des analyses de cycles de vie, regarder l'utilisation des matières premières, donc, aller voir des géologues qui

savent comment sont extraites toutes ces matières premières. Il y a plein de champs disciplinaires à explorer.

1024 : « *Est-ce que ce n'est pas justement un des intérêts du GDS EcoInfo, dont tu es actuellement responsable, de rassembler des gens d'origines différentes ?* »

A.-C. O. : Tout à fait, avec des points de vue très complémentaires. Par exemple, j'ai cité l'utilisation. Du point de vue utilisateur, il peut y avoir des effets rebonds. Un utilisateur peut faire une bonne action comme éteindre son chauffage parce qu'on est en période de pic. Si on éteint son chauffage 30 minutes parce qu'on est en période de pic de consommation électrique, après on peut se dire qu'on a fait une bonne action et rallumer le chauffage un peu plus fort ! Il y a plein d'effets rebond et pour les comprendre, on a besoin des sciences humaines, de la sociologie, de la philosophie, de l'histoire, toutes ces composantes, qui regardent l'impact du numérique sur l'environnement, sous d'autres aspects, sur des temps sans doute plus longs et sur l'ensemble des cycles de vie. C'est ce qui est passionnant dans le contexte du GDS EcoInfo, avoir tous ces points de vue très différents, à la fois économiques, sociologiques, et plus techniques d'un point de vue informatique et confronter tous ces points de vue et essayer d'en faire quelque chose pour réduire les impacts négatifs du numérique.

1024 : « *Je ne sais pas si c'est une conséquence de l'existence du GDS ou si c'est dans la nature des choses, mais j'ai l'impression que les questions d'économie dans le numérique commencent vraiment à se développer. Et la SIF a également organisé un congrès récemment sur ce sujet.* »

A.-C. O. : Je suis d'accord, ça se développe. Mais, d'un autre côté, on a de plus en plus d'objets connectés. Par exemple, lors du congrès de la SIF, on a parlé d'une cocotte-minute connectée. Pourquoi connecter une cocotte-minute ? On en parle de plus en plus côté réseau, *cloud*, serveurs, mais peu du côté des objets des utilisateurs. Et, les utilisateurs ne se rendent pas forcément compte que ce sont eux qui paient cette électricité pour ces objets connectés, pour leur box Internet...

1024 : « *Et, penses-tu que, via l'enseignement de SNT en seconde où les élèves devraient avoir un minimum de cours sur l'informatique, c'est le genre de chose que l'on va effectivement pouvoir leur inculquer, et peut-on espérer que cela ait des conséquences, par exemple sur l'utilisation de leur smartphone, sur la quantité de vidéos visionnées...* »

A.-C. O. : La durée de vie des équipements ; c'est un des principaux leviers ! Oui, j'espère. On va proposer des modules, des documents pédagogiques. Dans un nombre croissant d'universités, d'écoles d'ingénieurs, il y a des semaines consacrées au développement durable. Beaucoup d'aspects sont abordés, mais assez peu sur l'informatique généralement. Dans l'esprit des gens, et encore plus des ingénieurs, l'informatique est du côté de la solution et pas du problème. Cela a été évoqué lors

du congrès de la SIF : il faut regarder des deux côtés pour être rigoureux, considérer l'informatique à la fois comme solution potentielle et comme problème, du point de vue de notre impact sur la planète.

1024 : « *Au département Telecom de l'Enseirb-matmeca, il y avait un module Green networking qui est intégré à présent au module IoT. Au niveau de l'école, il y a des semaines « environnement durable ». J'espère que ce n'est pas qu'un effet de mode. Tu as une vision précise quand tu dis que tu crains que ce soit un effet de mode ?* »

A.-C. O. : Il faut éviter que ce ne soit qu'un effet de mode. Dans les réseaux de capteurs qui fonctionnent sur batterie, il y a toujours eu cette contrainte énergétique. Mais, dans les systèmes, elle était présente au début, car on n'avait pas de place, pas de mémoire, pas de puissance de calcul. Elle n'est plus du tout là ! Quand on regarde le développement des systèmes et des logiciels, il n'y a plus vraiment de contrainte sur l'optimisation des capacités. On cherche juste à optimiser la tolérance aux pannes, la facilité d'écriture du code, la facilité de déploiement des applications, mais on ne chasse pas l'octet ni le cycle de calcul. On a perdu ce savoir-faire. Dans les modules de programmation, on pourrait enseigner du *green programming*, apprendre à programmer sans trop consommer. À ma connaissance, cela n'est pas le cas actuellement.

1024 : « *Ce qui me paraît aussi important dans le développement logiciel, c'est la durée de vie. On est régulièrement obligé de changer de machines pour qu'elles puissent supporter les nouvelles versions de systèmes et logiciels.* »

A.-C. O. : Cela rejoint les problématiques d'obsolescence. C'est le problème de l'énergie. C'est toujours mis en balance avec autre chose, ce n'est jamais le principal critère. Il y a toujours un critère financier, un critère de performance, il y a toujours un compromis à faire. Certes, il y a toujours des compromis à faire dans la vie, mais l'énergie n'est jamais ce que l'on considère en premier et cela devient compliqué à optimiser après. Toutes ces problématiques d'éco-conception doivent être prises en compte dès le début, on ne peut pas les réécrire a posteriori.

1024 : « *Dans le programme de SNT, dans la partie « Données structurées et leur traitement », il est fait mention d'illustrer par des exemples simples la consommation énergétique induite par le stockage et le traitement des données.* »

A.-C. O. : C'est un bon début.

1024 : « *Il faudrait aller voir dans les manuels ce qu'ils disent sur ce sujet...* »

A.-C. O. : Oui, souvent c'est surprenant. Comme utilisateur, on n'a pas conscience en général de l'impact énergétique de notre utilisation du numérique, des outils en ligne, et on commence seulement à sensibiliser les gens au fait que les réseaux, les centres de calcul, ça consomme beaucoup. On se dit que ce sont les gros centres de calcul qui vont consommer beaucoup d'énergie mais, en réalité, ce qui a le plus

d'impact, ce sont les équipements des utilisateurs, parce qu'ils sont des millions, des milliards. Quand on donne ce genre de chiffres, les utilisateurs prennent conscience qu'ils ont une empreinte sur le système Internet, mais on peut leur donner l'illusion qu'ils n'en ont pas la maîtrise. Alors que seulement allonger la durée de vie de ses équipements, réduire son nombre d'équipements connectés, ça a un impact beaucoup plus grand que supprimer quelques mails (pour schématiser).

1024 : « *La communauté autour du green computing, tu considères qu'elle se développe bien ou cela reste encore une petite communauté ?* »

A.-C. O. : Je pense, effectivement, que la communauté s'est développée. Le thème du congrès de la SIF montre qu'il y a de plus en plus de travaux sur ces sujets, et plus généralement sur tout ce qui est impact environnemental. Il serait souhaitable que, quel que soit le domaine de recherche, on puisse contribuer à réduire cet impact. Et, que la communauté devienne encore plus large. Actuellement, elle reste encore très focalisée sur les réseaux et les architectures matérielles. Il faudrait que cela touche toutes les autres communautés, jusqu'à l'IA. Si l'IA permet d'avoir des algorithmes efficaces en énergie et si l'on s'interroge sur leur impact environnemental avant de les déployer, ce sera chouette !

1024 : « *Quand on regarde les évolutions en réseau en terme de recherche, on parle beaucoup de réseau logiciel. Ça, c'est très consommateur d'énergie aussi. Et certains disent qu'après la virtualisation, il faudra faire de la concrétisation* » *parce que cela ne va pas être tenable d'un point de vue énergétique. Que penses-tu de cette vision ?* »

A.-C. O. : C'est vrai que la virtualisation permet beaucoup de flexibilité. En deux clics, on peut avoir  $x$  machines virtuelles identiques, qui traitent un même service. Et cela permet, pour les structures de *cloud*, d'avoir l'impression d'avoir des ressources illimitées, à volonté. Et du coup, on a un peu perdu de vue que c'est matériel et que l'on consomme. Toutes ces couches, pour l'utilisateur final qui va louer une machine virtuelle, un service, sont complètement cachées. Plus on empile les couches et plus les ressources physiques sont loin. Pour retourner en arrière, avoir une conscience de cela, ça ne va pas être évident. Les aspects de modularité, de déploiement de services internet qui sont hyper-complexes : plein de machines virtuelles qui communiquent entre elles, qui sont duplicables par morceau, hébergées dans pleins de centres différents, c'est beaucoup de ressources pour finalement un service où avant, on avait un serveur dédié qui ne servait qu'à cela. Tout détricoter dans l'autre sens, pour supprimer des couches, c'est titanesque. Je ne sais pas si c'est faisable, puisqu'on essaie toujours d'être compatible avec les versions précédentes et les architectures existantes. Pour être plus économe en énergie, il y aurait besoin de simplifier tout ça, c'est sûr. Mais là encore, cela va à l'encontre de critères d'efficacité du développement par exemple. Développer une application web aujourd'hui, c'est assez simple,

alors que si on devait développer toutes les couches logicielles, ce serait autre chose !  
Donc là aussi, c'est un compromis.

1024 : « *Je vais changer un peu de sujet. Puisque l'article est destiné à 1024, est-ce que tu peux dire ce que t'as apporté la SIF ? À quel titre faisais-tu partie du Conseil des associations ?* »

A.-C. O. : Je faisais partie du Conseil des associations au titre de l'association SIGOPS-France (ASF). C'est le chapitre français de l'ACM-SIGOPS (pour *Operating Systems*). J'étais dans le bureau de cette association jusqu'à fin 2020 et donc, c'est par ce biais que j'étais au Conseil des associations de la SIF. Le Conseil des associations m'a apporté beaucoup de discussions. C'est très intéressant. Les associations sont très diverses. Il y a des associations thématiques, telles que la nôtre, et il y a des associations beaucoup plus « grand public ». Toute cette diversité de l'informatique se matérialise bien au sein du conseil des associations. C'est hyper-enrichissant. Récemment, il y a eu un travail sur les pratiques de publications, dans les différentes communautés, très enrichissant aussi.

1024 : « *Est-ce que tu t'intéresses aussi aux activités de Femmes & informatique ? Et aurais-tu des remarques sur cette activité ?* »

A.-C. O. : En 2019, on a organisé à Rennes une journée, avec la SIF entre autres<sup>3</sup>, sur les bonnes pratiques dans les laboratoires en termes d'égalité femme-homme, avec deux conférences le matin et des tables rondes l'après-midi sur les problématiques que l'on peut rencontrer en termes de parité dans un laboratoire. L'idée était d'échanger entre les différents laboratoires qui ont des bonnes idées. Par exemple « avoir un comité parité », à quoi cela sert, que peut-on en faire... Il y avait 5 tables rondes sur 5 sujets différents que l'on peut rencontrer dans les laboratoires. Cela allait du harcèlement à la sensibilisation du public scolaire par exemple.

1024 : « *Quel serait ton argument principal pour décider des jeunes filles à aller vers l'informatique ?* »

A.-C. O. : C'est compliqué. En préambule, je dirais qu'il faut laisser le choix, il ne faut pas y aller contrainte et forcée. À Rennes, en suivant l'initiative de collègues de Lille, en particulier Maude Pupin, et grâce à des fondations (Blaise Pascal, Rennes 1, plusieurs sponsors), on a mis en place une initiative, intitulée « L codent, L créent<sup>4</sup> », qui organise des interventions dans les collèges, le midi, sur le temps scolaire pour que ce ne soit pas du temps en plus pour les collégiennes. Ce sont des ateliers de programmation en Python. L'objectif est de réaliser une œuvre graphique en Python, qui peut être interactive ou pas, géométrique... C'est une initiation à la programmation Python, via quelque chose de ludique et de concret. Ce qui motive, c'est de voir

---

3. <https://project.inria.fr/bonnespratiquesegalite>.

4. <https://informatique.univ-lille.fr/lclc>, <http://lclc-rennes.irisa.fr>.

à quoi cela sert et d'utiliser un langage de programmation utilisé en « vrai » (par opposition à Scratch). Réaliser des œuvres graphiques, cela plaît en général aux collégiennes. Ces ateliers sont organisés uniquement pour des collégiennes de quatrième et troisième. C'est un âge où l'on va décider de son orientation. Et, c'est un âge où les questions d'orientation commencent à être orientées par le genre. De n'avoir que des collégiennes, cela permet qu'elles ne se censurent pas, qu'elles ne pensent pas qu'elles sont moins compétentes que les garçons, puisqu'ils ne sont pas là. C'est encadré par des doctorantes, pour qu'elles puissent s'identifier : un vrai effet *role model*. Et, ces doctorantes sont encadrées par des chercheuses (dont je fais partie), également pour avoir un effet *role model*. Je pense que cet effet est important. La vision qu'ont les collégiennes des informaticiens est assez éloignée de la réalité, assez portée par les médias, et peu en accord avec ce que l'on vit nous dans les laboratoires. Pour casser cette image très stéréotypée, il faut rencontrer des informaticiennes « en vrai » !

1024 : « *On a quelque chose d'assez similaire à Bordeaux, initié par les mathématiciens. C'est « Moi, mathématicienne, moi informaticienne ». C'est basé sur un principe assez similaire. On reçoit des jeunes filles, soit à l'institut de mathématique, soit au LaBRI et c'est assuré par des chercheuses.* »

A.-C. O. : Ce qui est amusant dans cette initiative, conçue par Lille, c'est qu'on fait huit séances dans les collèges et ensuite, on fait une exposition des œuvres réalisées à l'université. On a fait venir les parents et on a fait intervenir la directrice de la fondation Rennes 1, le directeur de l'UFR d'informatique de Rennes 1, les sponsors, pour expliquer l'importance de l'informatique et les débouchés. Car, c'est ce qui importe aux parents, voir qu'il y a des débouchés pour les filles aussi. Cela permet de mettre en avant l'importance des métiers du numérique, de démystifier l'université, de montrer qu'il y a des débouchés, y compris pour les filles et de valoriser le travail effectué par les collégiennes et les doctorantes. On vise tous types de collèges, y compris REP; certaines collégiennes n'ont jamais mis les pieds sur un campus avant... Vous pouvez regarder la vidéo en ligne<sup>5</sup>.

---

5. <http://lclc-rennes.irisa.fr/les-oeuvres-finales>.



# Entretien avec Christophe Genoloni, société Zébrys

réalisé par Christel Dartigues-Pallez<sup>1</sup>

---



*Après une thèse d'informatique soutenue en 2000 et une carrière de maître de conférences en STAPS à Paris Nanterre, Christophe Genoloni s'est lancé le pari de monter sa start-up Zébrys<sup>2</sup> à la croisée des univers des statisticiens et des informaticiens.*

Christel Dartigues-Pallez, C. D.-P. : « *Comment vous est venue l'idée de créer Zébrys ?* »

Christophe Genoloni, C. G. : L'idée de départ était de créer un logiciel, R++, à l'interface des deux mondes de la statistique et de l'informatique : on prend les bonnes idées des statisticiens dont c'est le cœur de métier et qui maîtrisent l'analyse de données et on met ces idées dans les mains des informaticiens qui savent faire les logiciels. Le projet a ensuite naturellement évolué vers la transformation de l'interface du logiciel<sup>3</sup> R beaucoup plus simple et performante, notamment en lui rajoutant une grammaire, en forçant le typage, en lui permettant d'être compilé, en rajoutant tout ce qui est important en informatique, mais en gardant la même syntaxe de départ pour ne pas perdre les utilisateurs de R. Il y a ainsi eu deux axes dans le développement de notre outil : la statistique haute performance et la création d'une interface

---

1. Université Côte d'Azur.

2. <https://rplusplus.com>.

3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/R\\_\(langage\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/R_(langage)).

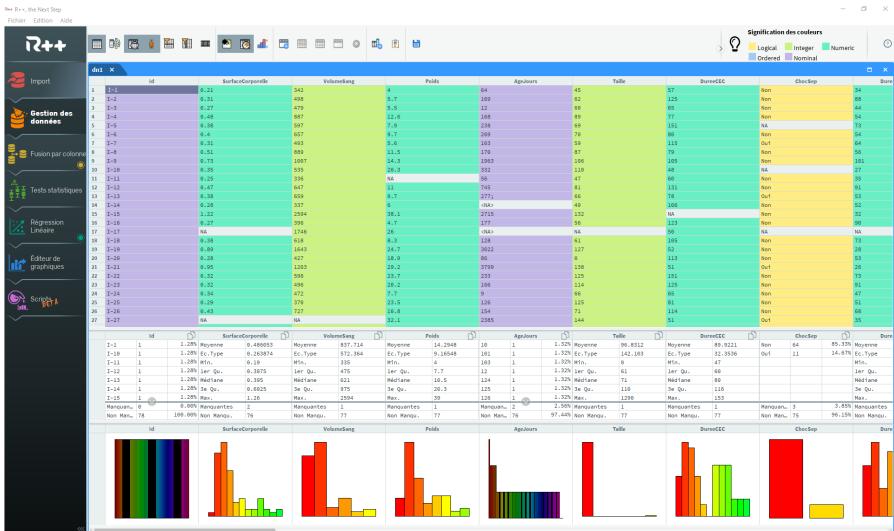


FIGURE 1. Interface de R++.

très simple pour économiser du temps humain en automatisant tout un tas d’opérations complexes. L’idée centrale est que cet outil soit très simple à utiliser pour des non informaticiens.

C. D.-P. : « *Avez-vous des exemples de fonctionnalités User-Friendly ?* »

C. G. : Oui, nous avons, par exemple, simplifié toutes les parties *data management* et consolidation des données (cf. figure 1). Quand on commence une analyse de données, la première étape est de prendre connaissance avec les données : colonne par colonne, calculer la moyenne, la médiane, l’écart-type... sauf si c’est une colonne nominale (valeur textuelle plutôt que numérique) auquel cas il faut compter les effectifs; puis faire une représentation graphique. S’il y a des valeurs aberrantes, il faut les détecter et les corriger; idem avec les problèmes d’encodage. Avec R++, un premier bouton fait apparaître tous les graphiques — du coup, les valeurs aberrantes sautent aux yeux —, un second bouton donne les indices les plus importants et la couleur permet de vérifier que les variables sont du bon type. On économise ainsi un temps précieux !

C. D.-P. : « *Quels sont les clients qui font appel à vous et plus globalement quels secteurs sont impliqués ?* »

C. G. : Nous avons comme utilisateurs de nos outils des médecins, des gens du e-commerce ou du web-marketing, de la logistique ou des ressources humaines. Nous sommes également en contact avec de grands clubs sportifs comme le PSG, le Stade Toulousain, le Servette de Genève, le club de hand de Tremblay... Nous avons deux nouveaux secteurs d'activités prometteurs, dans le domaine de la maintenance prédictive et de la prédiction. Mais, R++ est également mis à disposition du monde académique puisqu'il est gratuit pour les étudiants et les enseignants.

C. D.-P. : « *Comment Zébrys est-elle structurée ?* »

C. G. : Notre société compte 14 employés : nous avons 7 développeurs (un architecte, une personne spécialisée en haute performance, trois spécialistes de l'IHM, un spécialiste en compilation et bases de données et enfin un ingénieur plus généraliste). Nous avons également un mathématicien, un doctorant en informatique, une statisticienne, un commercial, moi-même et deux stagiaires.

C. D.-P. : « *Avez-vous été accompagné lors de la création de Zébrys ?* »

C. G. : La création de Zébrys s'est faite avec trois accompagnements forts. Tout d'abord, avec l'incubateur Midi-Pyrénées Nubbo<sup>4</sup> qui m'a permis de combler les lacunes dans beaucoup de domaines indispensables quand on gère une entreprise : la création d'un business plan, l'art du *pitch*, la gestion des ressources humaines, les bonnes pratiques pour le recrutement, la mise en place de techniques de fidélisation, les notions de e-commerce et de *web marketing*... Le deuxième accompagnement fort est venu de l'association Réseau Entreprendre<sup>5</sup>. Il s'agit de chefs d'entreprise expérimentés qui prêtent 30 000 € à des chefs d'entreprise débutants et surtout qui font un accompagnement (parrainage) avec des points étapes réguliers pour accompagner, sur le long terme, les jeunes créateurs d'entreprises. *Priceless* ! Enfin, j'ai pu bénéficier d'un accompagnant individuel qui fait du conseil en entreprise et qui a pu répondre à mes besoins et aux spécificités de mon entreprise.

C. D.-P. : « *Avez-vous toujours des liens avec les universités et laboratoires de recherche ?* »

C. G. : Oui, nous avons toujours des liens avec beaucoup de laboratoires de recherche. Au début de la création de Zébrys, nous avons collaboré avec des équipes spécialisées en IHM (équipe L2I de l'ENAC<sup>6</sup>, Emmanuel Dubois de Elipse<sup>7</sup>,

---

4. <https://nubbo.co>.

5. <https://www.cra.asso.fr>.

6. <https://www.enac.fr/fr/equipe-ii-informatique-interactive>.

7. <https://www.irit.fr/~Emmanuel.Dubois>.

l'IRIT<sup>8</sup>) et en compilation (Pierre Courtieux, laboratoire Cédric du CNAM<sup>9</sup>). Aujourd'hui, nous nous tournons vers les laboratoires, comme I3S, pour attaquer des sujets innovants. Dans cette perspective, nous proposons ainsi des stages master ainsi que des encadrements de thèse sur des thèmes comme la navigation graphique, qui doit toujours être plus innovante, ou l'analyse de données toujours plus complexes.

C. D.-P. : « *Considérez-vous votre parcours académique comme un avantage ou un inconvénient dans le développement et la gestion de votre entreprise ?* »

C. G. : Il y a des deux : mon expérience de maître de conférences m'a permis d'être très à l'aise avec les demandes de financement et les dossiers CIR<sup>10</sup>. Cela m'a apporté également des facilités pour recruter des étudiants en thèse et monter des collaborations. Par contre, ça ne m'a pas aidé du tout pour beaucoup d'aspects de la gestion d'une entreprise, notamment tout ce qui est en lien avec le commerce. Pour être un bon chef d'entreprise, il faut aimer vendre. Et moi j'aime inventer !

C. D.-P. : « *Quelles sont les principales difficultés que vous rencontrez dans l'entrepreneuriat ?* »

C. G. : La plus importante pour moi est l'état d'esprit qui a mis du temps à venir. Quand on gère une entreprise, il faut avoir une sorte de pragmatisme qui va parfois à l'encontre de l'état d'esprit de celui du chercheur. En recherche, on peut se permettre de parier sur une idée novatrice et éventuellement de perdre un peu de temps pour une exploration ou pour faire les choses parfaitement. Dans le monde de l'entrepreneuriat, une bonne idée est une idée qui intéresse un client, ou plus précisément une idée pour laquelle quelqu'un est prêt à payer. Il faut donc apprendre à se concentrer sur ce qui intéresse le client, là, maintenant, tout de suite. Les « idées géniales » qui sont vraiment « extraordinaires » mais au final n'intéressent pas vraiment, il faut apprendre à les mettre de côté, éventuellement les intégrer progressivement, mais ne pas en faire des priorités. Par ailleurs, la méconnaissance du monde de l'entreprise et la multitude d'aspects tant juridiques qu'organisationnels représentent d'autres difficultés. C'est là que l'incubateur Midi-Pyrénées et Réseau Entreprendre ont été d'une grande aide. Dans le monde de l'entreprise, comme dans le monde de la recherche, on en apprend tous les jours.

---

8. <https://www.irit.fr>.

9. <https://cedric.cnam.fr/lab>.

10. <https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23533>.



# La Nuit de l'info pendant une pandémie...

Le bureau de la Nuit de l'info<sup>1</sup>

---

Malgré le contexte sanitaire lié à la pandémie de la Covid-19, la 14<sup>e</sup> édition de la Nuit de l'info a bien eu lieu durant la nuit du 3 au 4 décembre 2020. Pour rappel, la Nuit de l'info est une compétition nationale qui, tous les ans, réunit étudiants du supérieur (de bac+1 à bac+8), enseignants et entreprises. Le principe est simple : les participants ont une nuit pour développer une application répondant à un sujet national, tout en relevant des défis complémentaires proposés par des entreprises partenaires.

Cette année, l'association SurfRider<sup>2</sup> a proposé aux étudiants de développer une application web permettant de récolter des données concernant la pollution de leurs lieux de surf : pollution due aux produits cosmétiques comme les crèmes solaire, aux produits chimiques comme les hydrocarbures ou la peinture, ou encore pollution due à la présence de bateaux. SurfRider est une association agissant en faveur de l'écologie au sens large et notamment de la sauvegarde de nos océans qui mène, entre autres, des actions de nettoyage des plages et communique sur la qualité des eaux de baignade.

Ce défi national a été relevé par plus de 1400 participants répartis en 240 équipes réunies dans 33 sites représentant 70 établissements d'enseignement. Les entreprises partenaires ont proposé 26 défis annexes qui ont tous été relevés.

Évidemment, une adaptation a été nécessaire afin d'éviter le regroupement de plusieurs dizaines d'étudiants dans des endroits clos. Exceptionnellement, cette année, la compétition s'est tenue à distance, virtuellement donc ; l'élément central de l'organisation de cet événement étant la plateforme collaborative officielle. Les différentes

---

1. <https://www.nuitdelinfo.com>, [nuitinfo-bureau@polytech.unice.fr](mailto:nuitinfo-bureau@polytech.unice.fr).

2. <https://surfrider.eu>

équipes se sont organisées localement mais des salons d'entraide au niveau national ont été créés sur notre plateforme. Le fait de ne pas avoir de sites locaux physiques a eu pour conséquence que les étudiants se sont massivement tournés vers ce serveur pour trouver de l'aide et ont mis les nerfs des organisateurs à rude épreuve !

Malgré les aménagements exceptionnels, l'événement a attiré un peu moins de participants que les années précédentes mais l'enthousiasme des étudiants est resté intact prouvant ainsi que la participation à la Nuit de l'info n'est pas simplement motivée par le fait de passer une nuit blanche et de pouvoir manger des pizzas toute la nuit. Les livrables sont restés de bonne qualité avec certaines équipes qui ont vraiment fait l'effort de rendre une application fonctionnelle et remplie de données informatives.

Merci aux entreprises partenaires qui ont joué le jeu malgré le contexte difficile, ainsi qu'aux étudiants qui sont venus nombreux.

Les membres du bureau 2020 de la Nuit de l'info sont : Céline Auzias, Jean-Michel Bruel, Maxime Devanne, Stéphane Isnard, Stéphane Ribas, Julio Santilario Elena et Rémi Synave et les personnes à l'origine de ce projet sont Pierre-Alain Muller, Sébastien Mosser et Mireille Blay-Fornarino.



# Comment les femmes de la cybersécurité se montrent « sans sweat à capuche » ?

Florence Sèdes<sup>1</sup>

---

À l'occasion du forum international de la cybersécurité (FIC) de 2020, le Cercle des femmes de la cybersécurité<sup>2</sup> (CEFCYS) a publié, sous la direction de Nacira Salvan, un ouvrage intitulé « Je ne porte pas de sweat à capuche, pourtant je travaille dans la cybersécurité<sup>3</sup> ». Ce guide des métiers, formations et opportunités de la cybersécurité est un ouvrage panorama des métiers, original dans sa forme : il s'adresse aux enseignants et formateurs qui souhaitent compléter leur (mé)connaissance de la filière, aux jeunes en phase de choix, aux parents soucieux de l'avenir de leurs enfants, aux professionnels de l'orientation, aux entreprises... Cette filière qui recrute et qui, à l'encontre des clichés, offre un univers très communicant, est évoquée au travers de 23 témoignages de *cyberwomen* sur leur parcours, leur motivation, leur expertise et leur vision du domaine et de ses opportunités : experte cyber, lycéenne et étudiante, cheffe de projet, responsable de la sécurité des systèmes d'information (RSSI), avocate, entrepreneuse, magistrate, consultante, journaliste, autant d'épisodes de vie et d'expression diverse de ce qu'est la cybersécurité et des multiples façons de l'aborder, à tout âge et à tout niveau de formation et de carrière.

Plaidoyer en faveur des métiers de la cybersécurité dès la formation initiale et tout au long de la vie professionnelle, pour faire évoluer des compétences ou envisager une reconversion, il illustre la variété des métiers exercés comme autant de

---

1. Professeure d'informatique à l'université Toulouse 3 et chargée de mission Femmes et informatique à la SIF.

2. <https://cefcysblog.wordpress.com>

3. <https://livre.fnac.com/a14152831/Cefcys-Je-ne-porte-pas-de-sweat-a-capuche-pourtant-je-travaille-dans-la-cybersecurite>, ISBN-2749601622.

*role models* et valorise des entreprises qui ciblent les métiers de la cybersécurité au féminin.

« *L'image du geek et de son éternel sweat à capuche colle à la peau de la cybersécurité... au point de détourner les vocations d'un secteur en pleine expansion!* ». Venant s'intégrer au courant actuel qui préconise de favoriser la mixité des études et des carrières du numérique, le CEFYCYS s'attaque aux clichés qui détournent les talents, tant féminins que masculins, d'un secteur d'avenir. Internet des objets, mobilité, *cloud*, IA, *data science* ont profondément restructuré le paysage technologique et économique. Dans le même temps, la montée exponentielle des cyberattaques à tous niveaux est un fait partagé. En dépit de l'offre de formations qui s'enrichit chaque année, en dépit de rémunérations — très — attractives, la cybersécurité fait face à une pénurie constante de talents : moins de 1 000 postes pourvus sur les 6 000 ouverts en France, soit à peine 20 %. Un constat alarmant face aux enjeux fondamentaux du secteur. Si les raisons de ce désamour concernent le numérique dans son ensemble, la cybersécurité souffre d'un déficit de notoriété supplémentaire auprès du grand public : l'image du geek et de son éternel sweat à capuche lui colle à la peau.

L'ouvrage fait tomber les idées reçues sur les métiers et les formations : la cybersécurité ne se résume pas à la technique, elle n'est pas réservée aux sur-diplômés ; les *cyberjobs* sont diversifiés, de la *start-up* à l'entreprise internationale en passant par les organismes publics.

**Ouvrir les métiers cybersécurité aux femmes.** Dans la filière cybersécurité, les femmes représentent à peine plus de 10 % des emplois du secteur, soit deux fois moins que dans la moyenne du numérique. Peu guidées, pas assez informées, les femmes se détournent du secteur sous le poids culturel des stéréotypes. Ce manque de mixité, conjugué à la pénurie générale de compétences, pose problème : comment faire face à la transformation digitale et à la montée des cybermenaces si plus de la moitié de la population ne s'y intéresse pas, est exclue ou s'auto-exclut de la filière ? « *Pourquoi se priver de 50 % des talents ? La cybersécurité ne doit pas rester un no(woman)'s land...* », déclare Nacira Salvan, présidente fondatrice du CEFYCYS.

**Faire bouger les lignes.** Ce panorama prolonge les travaux conduits par l'OPIIEC<sup>4</sup> dès 2017 auxquels le CEFYCYS avait contribué : « le groupe de travail recommandait, d'une part d'accroître l'attractivité et la visibilité de la filière et, d'autre part d'accompagner la mobilité professionnelle et la montée des compétences des salariés vers les métiers de la cybersécurité.

« *Notre ouvrage s'inscrit dans cette perspective et fait connaître des entreprises et des organisations qui ouvrent les métiers de la cybersécurité aux femmes. Notre approche est pragmatique et inédite* » souligne Nacira Salvan.

---

4. <https://www.opiiec.fr>



# Visibilité des femmes scientifiques dans les médias, discours d'inauguration de la journée Sciences et médias

Audrey Mikaëlian <sup>1</sup>

---



Et la question du jour, vous l'avez compris, c'est la visibilité des femmes scientifiques dans les médias.

Alors, avant même de parler de cette présence des femmes scientifiques dans les médias, la première question que je me suis posée, c'est pourquoi faut-il plus de femmes en sciences ? La réponse a l'air assez évidente, en fait. On se dit spontanément que c'est une question de justice, d'équité, de diversité, etc. Mais je crois que ce n'est pas seulement cela. Peut-être même que la justice et l'équité ne sont pas la question principale. On ne se dit pas qu'il faut plus de roux en sciences, ou de petits, ou de personnes du groupe sanguin AB+ par exemple. Parce que cela n'aurait pas de sens.

En réalité, au-delà de la lutte contre les discriminations, je crois qu'il faut plus de femmes dans les sciences pour améliorer la qualité même de la science.

De nombreuses recherches sur cette question donnent des arguments en ce sens. D'après Naomi Oreskes, historienne des sciences à l'université Harvard, il est crucial, pour la science elle-même, que les communautés scientifiques soient diversifiées. Parce que pour bien critiquer une idée ou une étude scientifique, pour avoir

---

1. Journaliste-réalisatrice de documentaires scientifiques pour la télévision, également vice-présidente de l'association des journalistes scientifiques de la presse d'information (AJSPI) qui co-organise la journée Sciences et médias, <http://sciencesetmedias.org>.

une idée créative expliquant un phénomène, il faut une multitude d'angles d'analyse différents. Les chances que ce soit le cas sont augmentées quand la communauté scientifique est diverse. Bien sûr, on peut imaginer une société dans laquelle les femmes ou les personnes de couleur penseraient exactement la même chose que les hommes blancs. Mais, en général, ce n'est pas le cas. La diversité des humains permet donc la diversité des points de vue intellectuels. Et ce n'est donc pas qu'une question de justice sociale, c'est surtout une façon de garantir plus de robustesse à la science.

Il y a également cette étude publiée y a un an dans *The british medical journal* qui indique que les articles publiant des résultats de recherches cliniques impliquant un homme, en premier ou dernier auteur, sont plus susceptibles de présenter les résultats de recherche de manière positive dans les titres et les résumés, que les articles dans lesquels le premier et le dernier auteur sont des femmes, et en particulier dans les revues à fort impact. Or, la science est régulièrement, et surtout en médecine, trop survendue ; et un peu de modestie lui ferait, parfois, beaucoup de bien.

Alors, revenons à notre thème du jour qui est la visibilité des femmes scientifiques dans les médias, et dont on sait —sans vous dévoiler le contenu de cette journée— qu'elle est très très faible et surtout en temps de crise comme en ce moment. Or finalement, passer dans les médias, être visible par des millions de lecteurs ou de téléspectateurs, qu'est-ce que c'est ? Et bien, il me semble que cette visibilité, c'est du pouvoir. Le pouvoir de dire, de convaincre, de faire avancer ses idées. Et je crois que les hommes et les femmes politiques ne me contrediraient pas.

Alors, il faut que les femmes soient plus visibles pour avoir plus de pouvoir. Il ne s'agit pas qu'elles fassent les petites mains efficaces d'une science décidée par les hommes, mais qu'elles participent à définir l'agenda de la science, donc qu'elles soient aux positions de pouvoir.

Francoise Giroud, l'ancienne journaliste et ministre, avait dit « *j'aime le pouvoir, mais dans le sens du pouvoir sur les choses, pas du pouvoir sur les gens qui ne m'intéresse pas* » ; autrement dit, le pouvoir de faire, pas de celui de dominer.

Et personnellement, je pense que le pouvoir est mieux exercé par les gens qui n'aiment pas dominer. Les gens qui aiment le pouvoir, en général, l'exercent mal. Sans doute une raison de plus pour laquelle il faut plus de femmes au pouvoir et donc dans les médias.

Je vous souhaite une très bonne journée Sciences et médias <sup>2</sup>.

---

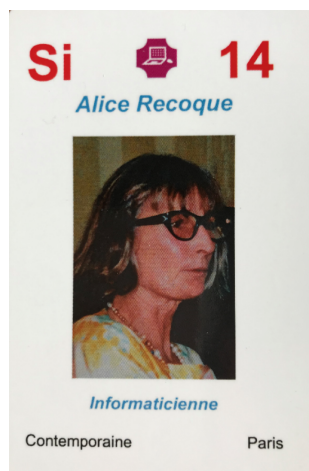
2. Les retranscriptions vidéos sont disponibles sur la page internet de la journée.



# Hommage à Alice Recoque

Florence Sèdes<sup>1</sup> et Marie-Claude Gaudel<sup>2</sup>.

---



Carte du jeu Mendeleieva.

Alice Recoque nous a quittés le jeudi 28 janvier 2021 à l'âge de 91 ans. Elle est une véritable icône de l'informatique, — domaine dans lequel les femmes sont devenues si rares — et plus particulièrement dans l'histoire du groupe Bull : l'informatique française a existé et c'est grâce à des femmes visionnaires, libres et inventives comme Alice Recoque qui a porté haut les couleurs de notre pays, de sa recherche et de son industrie durant quelques deux décennies. Ingénieure informaticienne, spécialiste de l'architecture des ordinateurs, Alice Recoque avait conçu le mini-ordinateur Mitra 15, qui fut un succès de l'informatique française. Elle s'était passionnée ensuite pour l'intelligence artificielle, impulsant au sein de son groupe industriel le développement d'une gamme d'outils remarquablement innovants. Elle avait été nommée, en janvier 2016, membre d'honneur de la Société informatique de France. On

peut consulter sa page Wikipedia<sup>3</sup> (sur laquelle la controverse de la maintenir ou non

---

1. Professeure d'informatique à l'université Toulouse 3 et chargée de mission Femmes et informatique à la SIF.

2. Professeure émérite d'informatique à l'université Paris-Sud. Elle a reçu la médaille d'argent du CNRS en 1996.

3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Alice\\_Recoque](https://fr.wikipedia.org/wiki/Alice_Recoque).

fut animée) et sa notice dans les « 40 femmes scientifiques remarquables du XVIII<sup>e</sup> siècle à nos jours » de Femmes & Sciences<sup>4</sup>.

Alice Recoque est née à Cherchell en Algérie française le 29 août 1929. Diplômée de l'école supérieure de physique et de chimie industrielle de Paris (ESPCI), elle intègre dès sa sortie la société d'électronique et d'automatisme (SEA), regroupée en 1966 dans la compagnie internationale pour l'informatique (CII), puis intégrée en 1976 dans CII Honeywell Bull, devenue plus tard Bull. Elle participe à l'élaboration de l'ordinateur de bureau CAB 500, mais son véritable fait d'armes c'est la création, en 1970 en tant que chef de projet, du mini ordinateur de gestion industrielle MITRA 15, commercialisé à plus de 8000 exemplaires. Une véritable performance pour l'époque. Il sera utilisé, entre autres, dans le réseau de communication Cyclades, ancêtre d'Internet! En 1985, sous la présidence de Jacques Stern, président de Bull, elle initie et prend la responsabilité de la mission sur l'intelligence artificielle, qui malheureusement n'a pas été financée à la hauteur des espoirs et des possibilités actuelles, 35 ans plus tard. Comme disait Christian Joly, ancien directeur général des études : « *Bull, carrefour des chances perdues* »! Avoir raison trop tôt n'est pas synonyme de réussite. Ses efforts ont été repris par la fondation Fredrik Bull œuvrant dans les algorithmes informatiques d'assistance aux personnes mal-voyantes ou handicapées. Elle fut aussi responsable de la direction des brevets et de la propriété industrielle. À son époque, les créateurs de matériel et de logiciel devaient passer sous ses fourches caudines. Le nombre de dépôts de brevets a été multiplié par dix, au grand désespoir des concepteurs pour lesquels c'était un *pensum* et qui devaient y consacrer de nombreuses heures! Elle avait une approche pédagogique hors pair, un relationnel d'un très grand humanisme et surtout une modestie à la hauteur de son talent. Une très grande dame de l'informatique. Nous en avons encore trop peu... Rendons à cette pionnière l'hommage qu'elle mérite.

Discours d'Alice Recoque à la cérémonie de nomination des membres d'honneur de la SIF en janvier 2016 : « *Tout d'abord, je viens de constater qu'il y a plus de trente ans que j'ai quitté mes fonctions au sein du groupe Bull. Je ne saurai donc vous parler que de l'informatique de papa, sinon de celle de grand-maman, qui n'en fut pas moins passionnante car elle progressait à grande allure et que portée par cette vague, on était sans cesse prié de se remettre en question. Ma situation au sein de la SEA, qu'on appellerait aujourd'hui une start-up, destinait cette évolution rapide par sa structure légère et par la personnalité de son fondateur, François Henri Raymond, ouvert à toutes les initiatives, lui-même précurseur de bien des évolutions ultérieures de notre discipline. Il fut mon maître à penser. C'est dans cette ambiance favorable que j'ai participé à l'apparition en France des premières mémoires à tores de ferrite, toujours présentes sur certains matériels militaires, et à la conception de*

---

4. [https://10ca8303-b3dc-4a91-9dcc-2d2b91792b47.usrfiles.com/ugd/10ca83\\_47b7d8cc74a54778817c92a1b941ec79.pdf](https://10ca8303-b3dc-4a91-9dcc-2d2b91792b47.usrfiles.com/ugd/10ca83_47b7d8cc74a54778817c92a1b941ec79.pdf).

la CAB 500, qui fut, à ma connaissance, le premier ordinateur conversationnel, dialoguant avec son utilisateur, à travers une machine à écrire connectée (Flexowriter). Le succès commercial de cette machine fut certain, à l'échelle de son époque. Vint ensuite le CAB 1500, dont l'architecture évoluée le privilégiait à traiter plus aisément les langages de haut niveau. Il se voulait le concurrent du Burroughs PD11, leader à l'époque des mini-ordinateurs, et doté d'une architecture très élaborée pour un mini ordinateur. Le CAB 1500 avait la même ambition. Cette belle aventure prit fin au stade du prototype, l'arrivée du plan Calcul survenant à ce moment là.

La CII fut créée, la SEA en étant une des composantes. Le connotation « recherche » de la SEA eut du mal à s'intégrer dans une entreprise à vocation industrielle, développant une « politique de produits », lesquels produits étaient, de plus, orientés « gestion » alors que le calcul scientifique et le process control étaient plutôt l'apanage de la SEA. La reconversion fut donc très rude. Le projet CAB 1500 étant supprimé, je passais quelques années aux recherches avec Jean Yves Leclerc, de retour des États-Unis, avec lequel je menais des réflexions passionnantes sur l'évolution des architectures. Je fus également, à cette époque, détachée à Inria pour participer à l'étude MIRIA, animée par Paul Gloess. Cette période de méditation m'a amenée à réfléchir à la structure d'un ordinateur qui se démarquerait de la gamme IRIS, en cours de réalisation, et qui prendrait en compte un environnement temps réel. Pierre Guichet, alors directeur de la division militaire s'y intéressa et transforma rapidement ce projet en une réalité qui donna naissance à la gamme MITRA 15. Je lui en suis très reconnaissante. J'eus alors le privilège de mener ce projet de la conception à l'industrialisation, en passant, par l'étude et le développement. Ce fut très enrichissant. J'ai également eu la chance de n'avoir aucune contrainte de compatibilité, le seul prédécesseur du MITRA étant le 10010, très précurseur, mais dont l'essor commercial n'avait pas été suffisant pour justifier que l'on s'embourbe dans de telles contraintes. Henry Fady, à l'origine du projet commercial sut orchestrer la définition et le marketing pour la meilleure commercialisation du produit, qui fut un grand succès.

La suite de mon parcours me ramène vers la recherche. Nommée déléguée scientifique du groupe, j'assure alors essentiellement la liaison entre notre propre groupe de recherche, dirigé par Louis Bolliet et la recherche publique, notamment Inria. À ce titre, je participe également à certaines instances comme le comité national du CNRS. Je m'implique également à titre personnel dans certains sujets tels que les architectures parallèles et le multi-micro-processing, avec Jean Mermet. Le renouveau d'intérêt pour l'intelligence artificielle, motivé notamment par ce que les japonais ont nommé la 5<sup>e</sup> génération, amène le groupe Bull à s'interroger sur ces techniques et la participation qu'il pourrait y apporter. On me confie alors la mission de définir les structures à mettre en place. Un centre de recherche et développement pour le groupe (le CEDIAG), est alors créé. Il sera dirigé successivement par Philippe Roussel et Jean Rohmer, qui y apporteront toute leur créativité. De nombreux outils

*y seront réalisés notamment pour l'assistance aux systèmes experts, la programmation par contraintes, l'interrogation des bases de données en langue naturelle... Tous donneront lieu soit à des applications, soit à des mises au catalogue, soit à des cessions. Les effectifs du CEDIAG atteignirent 200 personnes, dont 80 à l'international.*

*Mon dernier travail fut une proposition pour une gamme de produits. Je quittai alors le groupe Bull pour une semi-retraite en participant quelques temps au projet Eurotra dans le sillage d'André Danzin, et ensuite et enfin je me consacrai au plaisir d'être grand-mère. Pour finir, j'évoquerai l'enseignement, que j'ai pratiqué dans différentes écoles d'ingénieurs, notamment à l'ISEP pendant près de 20 ans ainsi qu'à Centrale et Supélec, et bien d'autres. J'y ai pris beaucoup de plaisir. Car, comme le disait notre regretté Jacques Arzac, on ne connaît bien que ce l'on a enseigné, et le fait de n'avoir eu aucun support de cours préalable, vu l'époque, a compliqué l'exercice, ce qui l'a rendu encore plus enrichissant. »*



# Hommage à Dieter Kratsch

Mathieu Liedloff<sup>1</sup> et Michaël Rao<sup>2</sup>

---



Mathieu, Dieter et Michaël lors de la journée de GROW 2009 (Bergen, Norvège) pour fêter les 50 ans de Dieter.

Avec beaucoup d'émotion, nous avons appris le décès de Dieter Kratsch survenu le 18 octobre 2020 à Iéna, en Allemagne.

Enseignant-chercheur à l'université de Lorraine depuis 1999, Dieter était un enseignant apprécié et un chercheur très actif de notre communauté scientifique. Depuis le début de sa carrière, en Allemagne dans les années 1980, ses travaux portaient sur l'algorithmique des graphes. Ses nombreuses publications, co-signées avec une centaine de co-auteurs, témoignent de son activité

intense. Malgré des problèmes de santé qui l'avaient tenu éloigné de son université ces dernières années, il conservait intacte sa passion, celle de la recherche.

À titre personnel, nous avons côtoyé Dieter comme enseignant, avant qu'il ne devienne notre *Doktorvater*<sup>3</sup>. Indéniablement, ses qualités pédagogiques et sa passion pour l'algorithmique, nous ont convaincus de suivre son chemin. Comme pour

---

1. Université d'Orléans.

2. Université de Lyon, ENS.

3. Pour les moins germaniques d'entre nous, notre directeur de thèse.

tant de personnes, les années de doctorat resteront un souvenir profondément ancré dans notre mémoire. Nous avons eu la chance de trouver un guide. Nous partageons son bureau et les discussions devant un tableau à craie étaient quasiment quotidiennes. Les débats étaient parfois animés pour défendre une piste longue et tortueuse pour finalement arriver à un résultat prometteur. Nous écoutions toujours d'une oreille attentive ses explications, tant sa culture autour des graphes était importante. Tout au long de sa carrière, il avait emmagasiné une somme impressionnante de connaissances qu'il avait plaisir à partager. Après notre thèse, nous avons conservé le contact avec notre mentor et poursuivi nos collaborations scientifiques. Nous vous proposons de retracer son parcours.

### *Quelques repères biographiques*

Originaire de Thuringe, en ancienne Allemagne de l'Est, où il est né en 1959, Dieter a suivi des études en mathématiques à partir de 1980 à l'université Friedrich Schiller d'Iéna (Allemagne). Il y a obtenu en 1985 son *Diplom-Mathematiker* (l'équivalent du master) en rédigeant un mémoire « *On the Restriction of NP-complete Graph Problems to Permutation Graphs* ». Il est ensuite devenu assistant dans l'équipe de Complexité de Gerd Wechsung, de 1985 à 1989. Ces années furent mises à profit pour préparer sa thèse dirigée par Andreas Brandstädt, chercheur connu pour ses nombreux travaux en théorie des graphes. Cette thèse était intitulée « *On the restriction of NP-complete graph problems to subclasses of chordal graphs* ». La dynamique était très forte à Iéna, avec Andreas Brandstädt bien sûr, mais aussi avec Haiko Muller et Peter Damaschke. Ce petit groupe fut très productif.

Puis vint le temps où Dieter s'éloigna un peu de Iéna. Il effectua un postdoc à l'IRISA de Rennes, en 1993–94, avec Jean-Xavier Rampon. De retour à Iéna, il soutint en 1996 son habilitation « *The Structure of Graphs and the Design of Efficient Algorithms* ». En 1997, il fut professeur invité à l'université de Paderborn (Allemagne). Dieter chercha ensuite un poste « sur la ligne Paris-Francfort ». C'est en Lorraine, à l'université de Metz, qu'il obtint un poste de professeur des universités en informatique en 1999 à l'UFR mathématiques, informatique, mécanique. Son recrutement à Metz vint renforcer le jeune laboratoire LITA (Laboratoire d'informatique théorique et appliquée) tout juste créé sous l'impulsion de Maurice Margenstern.

Il ne quittera plus cette université, se partageant entre sa famille, restée à Iéna, et son poste à Metz. Il y appréciera son cadre de vie et son bureau, proches de la rivière Moselle. Il y enseignera en licence et en master (évidemment, à l'époque, nous parlions de DEUG, licence, maîtrise). Il se rendra régulièrement à Nancy pour y enseigner en DEA. Il assurera également des responsabilités pédagogiques.

Sur les bancs de l'université se cachent déjà ses futurs étudiants, qui poursuivront en thèse à Metz avec lui, ou ailleurs après un stage de master. Beaucoup embrasseront une carrière dans l'enseignement ou la recherche en informatique. Parmi « ces

jeunes » qui auront côtoyé Dieter dans ce cadre, tout comme nous, nous pouvons entre autre citer : Daniel Meister, Pascal Ochem, Serge Gaspers, Mathieu Chapelle, Jean-François Couturier, Manfred Cochefert...

La qualité de ses cours, et l'enthousiasme qu'il arrivait à susciter, aussi bien dans son domaine que d'autres plus éloignés, ont très naturellement créé de nombreuses vocations. D'ailleurs Dieter encourageait très tôt ses étudiants à participer aux groupes de travail et séminaires du laboratoire. Tous retiendront de lui sa gentillesse, son travail acharné et la rigueur qu'il imposait à lui-même.

### ***Ses recherches : l'algorithmique des graphes***

Ses recherches portaient en grande partie sur la conception d'algorithmes efficaces sur certaines classes de graphes, alors qu'ils sont NP-complets sur les graphes en général. Parmi les problèmes, il y avait la « *bandwidth* », des problèmes de coloration (dont la coloration co-chromatique qui lui vaudra un papier co-signé avec Paul Erdős) ou différentes variantes de la domination... Ses classes de prédilection étaient les graphes de permutation, d'intervalles ou de comparabilité. Dieter avait également beaucoup travaillé sur une classe, un peu moins connue, qui généralise les précédentes : les graphes sans triplet astéroïdal » (en anglais, les *AT-free graphs*).

### ***L'algorithmique modérément exponentielle***

À partir des années 2000, Dieter entamera des investigations sur la résolution de problèmes de graphes NP-difficiles. La conception et l'analyse d'algorithmes seront toujours au cœur de ses préoccupations. L'idée est de garantir une solution exacte et un temps d'exécution, certes exponentiel, mais le plus faible possible. Les problèmes de domination dans les graphes auront sa faveur, mais pas seulement. Il se documentera sur les travaux antérieurs et fera des progrès notables pour analyser le temps d'exécution des algorithmes de *branchement*; en collaboration avec Fedor Fomin (Bergen, Norvège) et Fabrizio Grandoni (Lugano, Suisse), ils développeront *mesurer-pour-conquérir* qui consiste en une analyse plus fine des méthodes de branchement. Ces travaux lui vaudront avec ses deux co-auteurs le prix Nerode en 2017. Prix que son fils Stefan Kratsch (Berlin, Allemagne) obtiendra lui aussi l'année suivante ! La publication d'un livre, avec Fedor Fomin en 2010, assurera une notoriété à ce domaine de recherche. Poursuivant ses travaux, il utilisera également les algorithmes modérément exponentiels pour l'énumération de solutions et ainsi établir des bornes combinatoires sur les objets énumérés.





# Estimation de posture 3D à partir de données imprécises et incomplètes : application à l'analyse d'activité d'opérateurs humains dans un centre de tri

*Thibault Blanc-Beyne*<sup>1</sup>

Pour étudier la pénibilité au travail et dans un but de prévention des troubles musculo-squelettiques, la société Ebhys veut développer un outil d'analyse de l'activité des opérateurs humains dans un centre de tri à partir d'images de profondeur. Une étude ergonomique permet de définir les indicateurs à mesurer, qui peuvent être obtenus à partir de la posture 3D de l'opérateur. Nous construisons alors un système en trois parties. Tout d'abord, nous entraînons un algorithme d'apprentissage à l'aide d'une segmentation automatique dont les meilleurs échantillons sont automatiquement sélectionnés au cours de l'entraînement, nous permettant d'extraire l'opérateur de l'image. En parallèle, nous construisons un réseau de neurones léger et optimal pour l'estimation de la posture 3D de l'opérateur sur des images de profondeur générées numériquement. Ce modèle n'étant pas utilisable sur les données acquises dans les centres de tri, nous rendons les images de profondeur de synthèse plus réalistes à l'aide d'un réseau de neurones génératif. Ces nouvelles images sont utilisées pour réentraîner l'algorithme d'estimation de posture, qui permet finalement d'obtenir des résultats convaincants.

---

1. Thèse soutenue le 9 novembre 2020, préparée au sein de l'équipe REVA de l'institut de recherche en informatique de Toulouse (IRIT), sous la direction de Vincent Charvillat et co-encadrée par Axel Carlier et Sandrine Mouysset.

# Assistant de décision et de négociation par analyse de viabilité - Application à la gestion participative d'espaces protégés

*Laetitia Zaleski*<sup>2</sup>

La bonne gestion des espaces partagés impose de tenir compte de la multiplicité des acteurs sociaux qui ont chacun leurs valeurs et leurs objectifs. Elle est soumise à deux problèmes fréquents. Le premier est l'absence de consensus, le second est un consensus sur une solution inefficace dans sa réponse aux problèmes soulevés. Combiner l'aspect participatif avec une aide technique permet d'aborder chacun des deux aspects : il est possible à la fois d'aider les acteurs dans la prise de décision, tout en aiguillant leur raisonnement vers une issue cohérente. Durant ma thèse, nous avons choisi d'utiliser la théorie de la viabilité afin de fournir une aide technique. Cette méthode propose aux utilisateurs de définir un ensemble de contraintes regroupant les intérêts et objectifs de tous. Mon travail fut axé sur la conception, le développement et l'étude de l'impact d'un outil pour la gestion participative basé sur la théorie de la viabilité. Nous avons implémenté un prototype d'assistant informatique concrétisant les idées proposées dans la thèse puis mené une première expérimentation de son utilisation afin de jauger son intérêt et les avantages apportés dans la négociation et la prise de décision.

---

---

2. Thèse soutenue le 14 décembre 2020, préparée au LIP6, Sorbonne Université, sous la direction de Isabelle Alvarez, Jean-Pierre Briot, Martha Irving.



# Bilan du prix de thèse Gilles Kahn 2020

Clémentine Maurice et Charlotte Truchet

---

Le prix de thèse Gilles Kahn 2020, décerné par la SIF et patronné par l'Académie des sciences, a été attribué à :

THOMAS DEBRIS-ALAZARD

*pour sa thèse « Cryptographie fondée sur les codes : nouvelles approches pour construction et preuves ; contribution en cryptanalyse », soutenue à Sorbonne Université et opérée au sein d'Inria Paris sous la direction de Jean-Pierre Tillich.*

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

SARRA HABCHI

*pour sa thèse intitulée « Understanding Mobile-Specific Code Smells » soutenue à l'Université de Lille et opérée au sein d'Inria Lille, sous la direction de Romain Rouvoy.*

RENAUD VILMART

*pour sa thèse « ZX-Calculi for Quantum Computing and their Completeness », soutenue à l'Université de Lorraine, et préparée au laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications (LORIA), sous la direction de Emmanuel Jeandel et Simon Perdrix.*

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/>

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



<https://www.lemonde.fr/blog/binaire/il-etait-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 54 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 2020 était présidé par Charlotte Truchet, assistée par Clémentine Maurice, secrétaire du prix. Le jury était constitué de Marie Albenque, Aurélien Bellet, Julien Bourgeois, Raphaëlle Chaine, Thomas Chatain, Caroline Collange, Thomas Degueule, Hélène Fargier, Jean-Daniel Fekete, Jérôme Feret, Laure Gonnord, Steve Kremer, Christine LARGERON, Cédric Lauradoux, Olivier Ly, Assia Mahboubi, Clément Maria, Théo Mary, Vincent Nicomette, Laurent Perron, Pascal Poizat, Yann Ponty, Pierre Senellart, François Taiani, et Tristan Vaccon.

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



# Cryptographie fondée sur les codes : nouvelles approches pour construction et preuves ; contribution en cryptanalyse

Thomas Debris-Alazard<sup>1</sup>

---

*Thomas Debris-Alazard a soutenu sa thèse<sup>2</sup> opérée au sein d'Inria Paris sous la direction de Jean-Pierre Tillich le 17 décembre 2019 à Sorbonne Université.*

### Contexte de la thèse



La sécurité de nos données personnelles, de nos communications ou encore de nos échanges bancaires, en bref notre sécurité numérique n'est possible qu'au prix d'une protection : *la cryptographie*. Les menaces contre lesquelles elle nous protège sont légion et ne cessent d'évoluer, que ce soit avec les nouvelles habitudes d'utilisateurs ou l'amélioration des moyens techniques. Il est donc nécessaire d'analyser et d'adapter en permanence la cryptographie.

La cryptographie se scinde en deux grands domaines. Le premier est la cryptographie à *clef secrète*. Les entités souhaitant s'échanger des messages utilisent à la façon d'un mot de passe un même secret partagé préalablement. Mes travaux se sont concentrés sur le second paradigme dit cryptographie *asymétrique* ou à *clef publique*. Ici, seule l'entité avec laquelle nous souhaitons communiquer possède un secret. Les échanges

---

1. [thomas.debris@inria.fr](mailto:thomas.debris@inria.fr).

2. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02926286>.

sont possibles avec le détenteur du secret grâce à des données publiques qui lui sont liées. Ce type de cryptographie est particulièrement important car il permet, entre autre, l'échange préalable d'un secret (dit échange de clefs) permettant la cryptographie à clef secrète.

La cryptographie à clef publique repose sur l'utilisation de problèmes « difficiles » de type question/réponse là où la question joue le rôle de donnée publique, tandis que la réponse est le secret. Il doit donc être facile de calculer une question pour une réponse donnée (calculer ses données publiques à partir de son secret), alors qu'il doit être difficile de trouver la réponse d'une question (personne ne peut calculer votre secret à partir de vos données publiques). Ce genre de problème est particulièrement naturel et commun dans nos vies. Prenons par exemple un annuaire : il est facile de trouver le numéro de M. Halliday alors qu'il est « difficile », étant donné un numéro, de retrouver son détenteur. Malheureusement, ce problème ne peut être utilisé en cryptographie. En effet, tout détenteur d'un ordinateur peut parcourir très rapidement l'annuaire pour retrouver une personne à partir de son numéro de téléphone. C'est ici que les mathématiques interviennent en nous offrant des problèmes tels que, même avec toute la puissance de calcul disponible sur terre, aucun ordinateur ne sera en mesure d'offrir une résolution.

C'est en 1978 que naquit le premier système cryptographique à clef publique (chiffrement) avec la proposition de Rivest, Shamir et Adleman [16]. La sécurité de ce cryptosystème repose sur le problème de la factorisation issu de la théorie des nombres : étant donné  $n = pq$  où  $p$  et  $q$  sont premiers, retrouver  $p$  et  $q$ . Cette même année 1978, une seconde proposition fut faite mais reposant, quant à elle, sur l'utilisation d'objets appelés *codes correcteurs d'erreurs* : le schéma de McEliece [13]. Ce système, bien que jouissant de certains avantages comparativement à RSA, ne fut pas utilisé en pratique. En effet, les données publiques nécessaires à RSA sont bien plus petites. Ce dernier fut jugé à l'époque plus performant. De nos jours, ce système ainsi que le protocole d'échange de clefs de Diffie-Hellman [8] sont toujours les plus utilisés en pratique. Le protocole de [8] est, entre autres, lié au problème dit du *logarithme discret* : étant donné un groupe  $\mathbb{G}$  de générateur  $g$  et  $g^x$ , retrouver  $x$ .

La cryptographie à clef publique déployée repose donc uniquement sur deux problèmes. Or, ces-derniers ne sont pas si éloignés, ils sont tout deux une instance du problème dit du sous-groupe caché [11] dans un groupe abélien. Il n'existe pas, à ce jour, d'algorithme fonctionnant sur nos ordinateurs qui résolve efficacement ce problème. En revanche, la situation est bien différente dans un monde où l'ordinateur « quantique » existerait. Depuis la découverte de Shor [17], nous connaissons un algorithme « quantique » résolvant le problème du sous-groupe caché dans un groupe abélien. Les protocoles de sécurité [16] et [8] seront donc caducs une fois que les premiers ordinateurs quantiques de taille suffisante auront été construits. Face à ce danger, il fut, durant plusieurs années, invoqué l'infaisabilité d'un tel ordinateur.

C'était sans compter sur les récents progrès techniques qui aujourd'hui rendent probable l'existence d'un ordinateur quantique efficace dans les prochaines décennies. Google a même récemment prétendu avoir obtenu la suprématie quantique [2], c'est-à-dire être en mesure de résoudre en temps raisonnable avec un ordinateur quantique un problème hors d'atteinte pour des ordinateurs classiques. Ce résultat est cependant contesté par IBM<sup>3</sup>. Quoi qu'il en soit, le temps se fait pressant pour trouver et étudier de nouveaux paradigmes mathématiques pour lesquels la cryptographie à clef publique sera quantiquement sûre. En effet, certaines données ont vocation à être confidentielles pour les cinquante prochaines années.

Fort heureusement, nous connaissons des solutions cryptographiques fonctionnant sur ordinateur classique et qui ont des chances d'être sûres quantiquement. On parle usuellement de *cryptographie post-quantique*. Le cryptosystème de McEliece est, par exemple, revenu sur le devant de la scène après la découverte de Shor. De nos jours, les seules attaques connues contre le système de McEliece requièrent une puissance de calcul (même quantique) exponentielle en sa taille. Il existe actuellement bien d'autres propositions ; nous pouvons citer parmi les plus prometteuses celles reposant sur les réseaux euclidiens, les fonctions de hachage, les systèmes multi-variés ou plus récemment les isogénies. Nous changeons donc d'ère cryptographique ; les problèmes sur lesquels peut reposer la sécurité numérique sont tout aussi bien variés que de natures différentes. Néanmoins, ces domaines cryptographiques ont été bien moins étudiés que ne le furent RSA [16] et le protocole de Diffie et Hellman [8]. Or, il y a aujourd'hui urgence à proposer des systèmes sûrs aussi bien classiquement que quantiquement.

C'est dans ce contexte que le *National Institute of Standard Technology* (NIST) du gouvernement américain lança en 2017<sup>4</sup> un appel pour la standardisation de systèmes à clef publique sûrs contre un ordinateur quantique. Cet appel se focalise sur deux fonctionnalités cruciales pour le fonctionnement d'internet : les échanges de clefs et les signatures numériques. Les signatures permettent de « signer » des messages. De cette façon, nous sommes sûrs, d'une part de l'émetteur du message, et d'autre part que ce message n'a pas été altéré par une partie tierce. Cette fonctionnalité est, par exemple, primordiale lors de nos mises à jour logiciel : nous voulons nous assurer que la mise à jour vient bien de notre fournisseur et que personne n'y a intégré de virus. Ce dernier nous fournit donc des mises à jour signées.

Ma thèse se déroula dans ce cadre d'étude de la cryptographie post-quantique à clef publique avec comme tâche de fond la standardisation du NIST dont le second tour a démarré peu de temps avant ma soutenance. Je me suis tout particulièrement intéressé à la branche cryptographique née de la proposition de McEliece. La figure 1 donne les paradigmes mathématiques qui étaient encore présents au NIST lors du second tour de standardisation. Nous constatons qu'aucune signature utilisant des

---

3. <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy/>

4. <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography/>

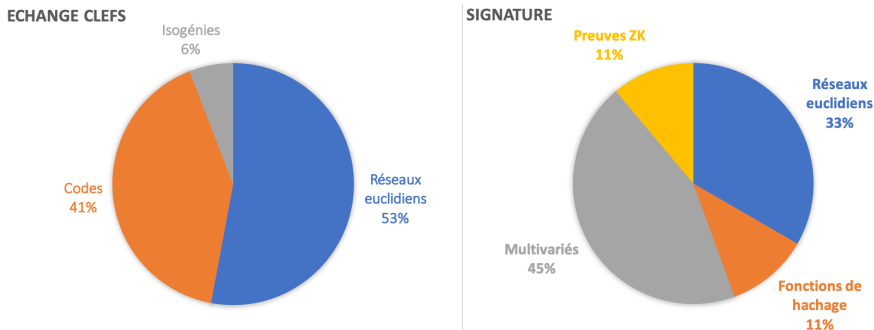


FIGURE 1. Propositions au second tour du NIST

codes correcteurs n'était présente alors que les codes sont l'une des plus vieilles propositions post-quantiques. Il existe en effet d'importants problèmes techniques pour construire des signatures et tout particulièrement avec des codes (problème ouvert par McEliece lui-même dans son article fondateur [13]). Mes travaux se sont entre autres consacrés à la résolution de ce problème ouvert depuis 40 ans.

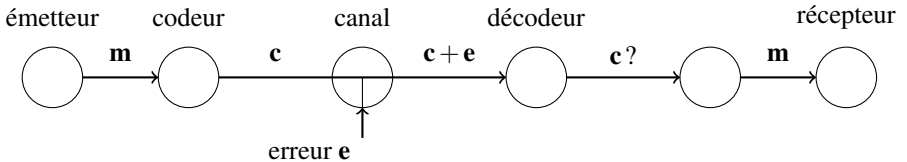
## Solutions cryptographiques avec des codes correcteurs

### *Des télécommunications aux codes correcteurs*

La cryptographie à clef publique est, comme nous l'avons vu, en quête de problèmes difficiles. Une source particulièrement prolifique pour cette dernière fut l'un des grands tournants de notre époque : la numérisation de l'information. Revenons un instant sur ce point. La numérisation ouvrit la possibilité de la conservation illimitée de l'information tout comme notre capacité à la transmettre quasi-instantanément. En revanche, ceci ne fut possible qu'au prix de la protection contre les erreurs. En effet, toute donnée enregistrée sur un support (pensons à nos vieux CD-ROM) ou téléchargée d'un serveur à l'autre bout du monde est susceptible d'être altérée. Le principe pour s'en prémunir est alors simple et naturel : adjoindre de la redondance à chaque symbole que l'on souhaite transmettre ou sauvegarder. Une illustration banale est lorsque nous cherchons à épeler notre nom au téléphone : T comme Thierry, I comme Inès, L comme Léo, etc.

Dans un contexte numérique où nous souhaitons envoyer des bits, l'idée est la même : ajouter de la redondance. Partons d'un message que l'on souhaite transmettre, à savoir une suite  $\mathbf{m}$  formée de  $k$  bits. La première idée est de se donner un sous-espace vectoriel  $\mathcal{C}$  de dimension  $k$  de  $\{0, 1\}^n$  avec  $n > k$  ( $\{0, 1\}^n$  représente

l'ensemble des mots de  $n$  bits). Un tel espace  $\mathcal{C}$  est appelé *code linéaire*. Ce dernier étant de dimension  $k$ , nous pouvons le représenter à l'aide d'une base, c'est à dire une matrice  $\mathbf{G}$  de dimension  $k \times n$ . Désormais pour transmettre  $\mathbf{m}$ , on commence par l'encoder :  $\mathbf{c} \triangleq \mathbf{m}\mathbf{G}$ . L'encodé  $\mathbf{c}$  (mot de code) représente  $\mathbf{m}$  mais avec  $n - k$  bits de redondance. Notons qu'un simple calcul d'algèbre linéaire permet de retrouver  $\mathbf{m}$  à partir de  $\mathbf{c}$ . Le mot de code  $\mathbf{c}$  est ensuite transmis à travers un canal pouvant induire des erreurs (des rayures sur notre CD-ROM...). Nous obtenons alors un mot de la forme  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$ . Il s'agit maintenant de retrouver  $\mathbf{c}$ , et donc  $\mathbf{m}$ , à partir de  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$ . Cette opération est appelée *décodage*. La figure qui suit résume la situation.



Le seul instant non-maîtrisé ici est l'action du « canal » sur le mot de code. Une première modélisation simple est la suivante : tout bit de  $\mathbf{c}$  est indépendamment modifié en son opposé avec une probabilité  $0 \leq p < 1/2$ . Dans ce modèle, une donnée naturelle quantifiant les erreurs possibles est *le poids de Hamming*. Ce dernier est défini comme le nombre de bits non nuls d'un vecteur. Étant donné  $\mathbf{x} \in \{0,1\}^n$  :  $|\mathbf{x}| = \#\{1 \leq i \leq n : x_i \neq 0\}$ . On vérifie facilement qu'une erreur donnée  $\mathbf{e}$  de poids de Hamming  $w$  ( $w$  bits du mot transmis ont été modifiés) a pour probabilité d'apparition  $p^w(1 - p)^{n-w}$  lors de la transmission. Du fait que  $p < 1/2$ , cette probabilité est décroissante en  $w$ . On en déduit que le mot de code transmis est d'autant plus probable qu'il est proche, *au sens de la métrique de Hamming*, du mot reçu. *Le décodage consiste alors à retrouver le mot de code à la plus petite distance de Hamming du mot reçu*. On parle usuellement de décodage par maximum de vraisemblance. La procédure naïve consistant à énumérer les  $2^k$  mots de code possibles et sélectionner le plus proche est évidemment à écarter. Il nous faut donc ajouter une structure sur le code dont on pourra ensuite tirer parti.

L'ambition de la théorie des codes a alors été de proposer des familles de codes avec une « structure » permettant un algorithme de décodage efficace. Historiquement deux grandes familles furent proposées : (i) les codes munis d'une forte structure algébrique et d'un décodage déterministe tels que les codes de Reed-Solomon [12, chapitre 10] ou les codes de Goppa [12, chapitre 12] et (ii) ceux avec des algorithmes de décodage probabiliste tels que les codes convolutifs [9], les LDPC [10] ou plus récemment les polaires [1] (qui sont d'ailleurs les codes utilisés pour la 5G). Si toutes ces structures ont été introduites, c'est que le problème de décodage d'un code quelconque, c'est à dire sans structure particulière, semble *difficile*, ce que confirment près de soixante années de recherche.

## *Des codes correcteurs à la cryptographie*

McEliece [13] eut alors l'idée d'utiliser ce problème difficile de décodage d'un code quelconque dans un contexte de cryptographie à clef publique.

Supposons que Bob souhaite communiquer à Alice un message  $\mathbf{m}$  de  $k$  bits. L'idée est alors la suivante : Alice commence par choisir son code préféré  $\mathcal{C}$  de dimension  $k$  qu'elle sait décoder. En d'autres termes, si Alice reçoit  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$ , elle peut retrouver  $\mathbf{c} \in \mathcal{C}$  si l'erreur  $\mathbf{e}$  est de petit poids de Hamming ( $\mathbf{c}$  est le mot de code le plus proche de  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$ ). Alice rend alors public son code  $\mathcal{C}$ , en fournissant à qui le souhaite une base de ce code, c'est à dire une matrice  $\mathbf{G} \in \{0, 1\}^{k \times n}$ . Bob qui souhaite maintenant envoyer  $\mathbf{m}$  commence par l'encoder  $\mathbf{c} \triangleq \mathbf{m}\mathbf{G}$ . Bob ajoute ensuite lui-même une erreur  $\mathbf{e}$  (de petit poids de Hamming) à ce mot de code puis envoie à Alice le résultat  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$  qu'elle peut décoder. Alice retrouve donc  $\mathbf{c}$  et ainsi le message  $\mathbf{m}$ . Désormais, si Eve (une personne malveillante...) intercepte les communications entre Alice et Bob elle se retrouve avec  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$ . Eve doit donc savoir décoder le code  $\mathcal{C}$  pour retrouver  $\mathbf{m}$ . C'est ici qu'intervient l'une des idées de McEliece. Alice a choisi son code préféré qu'elle sait décoder mais ce choix doit être précautionneux. *Alice doit être la seule à pouvoir décoder le code.* Pour cela, elle va choisir un code structuré mais elle va cacher cette structure de façon à ce qu'en rendant son code public, ce dernier semble quelconque. Ainsi, même si Eve connaît le code  $\mathcal{C}$ , elle ne connaît pas la structure permettant le décodage. Elle se retrouve à devoir résoudre le problème de décodage d'un code quelconque, problème difficile. Eve est donc incapable de retrouver le message envoyé par Bob.

Dans le schéma de McEliece, une question cruciale est de savoir quelle structure utiliser, comment bien la cacher et s'en assurer. La théorie des codes est d'une grande richesse. Il y a aujourd'hui pléthore de familles de codes avec un bon algorithme de décodage. Ces codes proviennent des télécommunications. Nous pouvons donc apparemment instancier ce schéma de multiples façons. L'histoire des codes en cryptographie a en revanche démontré à quel point nous devons nous méfier. En effet, l'immense majorité des propositions fut brisée. De nos jours, les familles robustes aux attaques (retrouver la structure cachée) ne sont plus légion. Nous pouvons, par exemple, citer les codes de Goppa (proposition originelle de McEliece) et les codes MDPC [14].

Revenons un instant sur l'introduction des codes MDPC, ces derniers étant symptomatiques d'une idée profonde en théorie des codes et cryptographie. Nous savons, depuis l'introduction des codes LDPC [10], que des mots creux (*i.e* de petit poids de Hamming) dans un code sont d'une grande aide pour le décodage. Les codes LDPC sont aujourd'hui très utilisés en télécommunication et nous pourrions être tentés de les utiliser en cryptographie. Malheureusement, il est trop facile de retrouver des mots creux dans un code, ces mots sont impossibles à cacher. Le rationnel des codes MDPC a alors consisté à augmenter le poids de ces mots. Ceci a pour premier effet

de détériorer l'algorithme de décodage. Il serait donc absurde d'utiliser ces codes dans un contexte de télécommunication. En revanche, le décodage d'un petit nombre d'erreurs est toujours possible et, désormais, il n'y a plus de mots creux dans le code. On peut donc cacher la structure tout en sachant encore décoder.

## Contributions de cette thèse

Les travaux de ma thèse se sont inscrits dans ce contexte de cryptographie avec des codes correcteurs, que ce soit à travers des analyses de la difficulté algorithmique du problème de décodage [6, 3], des attaques [7] ou encore la proposition d'un schéma de signature avec des codes Wave [5]. La signature Wave s'est faite en rupture de l'approche classique en cryptographie avec des codes, qui utilise le décodage à petite distance. Nous avons avec Wave introduit une nouvelle notion originale et nouvelle : le décodage à grande distance (*i.e* rechercher le mot de code *le plus éloigné*). Cette idée n'a aucun sens dans un contexte de télécommunication mais en revanche, comme je l'ai montré, ce nouveau paradigme (clef du bon fonctionnement de Wave) a un grand intérêt cryptographique.

### *Signer avec des codes*

Une signature avec des codes repose sur le même principe que le chiffrement de McEliece que nous avons décrit précédemment. Cependant, cette approche soulève des difficultés techniques supplémentaires. Supposons qu'Alice souhaite « signer » une suite de  $n$  bits  $\mathbf{y}$  à envoyer à Bob. Alice commence par choisir encore une fois son code préféré  $\mathcal{C}$  qu'elle sait décoder et qu'elle rend public. Pour signer  $\mathbf{y}$ , Alice va le décoder pour trouver un mot de code  $\mathbf{c} \in \mathcal{C}$  proche de  $\mathbf{y}$ , disons à distance  $w$ . Cette distance  $w$  est aussi rendue publique par Alice. La signature de  $\mathbf{y}$  est alors  $\mathbf{c}$ . Bob en recevant le couple message/signature  $(\mathbf{y}, \mathbf{c})$  s'assure alors d'une part que  $\mathbf{c} \in \mathcal{C}$  et d'autre part que  $|\mathbf{y} - \mathbf{c}| = w$ . Si Alice est la seule à savoir décoder  $\mathcal{C}$  à distance  $w$ , Bob peut être sûr qu'Alice a bien envoyé le message  $\mathbf{y}$ . Il y a cependant ici une grosse difficulté. La théorie des codes offre des structures permettant à partir de  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$  de retrouver  $\mathbf{e}$  de petit poids de Hamming. Or, Alice souhaite ici signer un message  $\mathbf{y}$  quelconque et, pour des raisons combinatoires, il est extrêmement peu probable que  $\mathbf{y}$  soit égal à un  $\mathbf{c} + \mathbf{e}$  si  $\mathbf{e}$  est de poids de Hamming trop petit et  $\mathbf{c} \in \mathcal{C}$ . De ce fait, *décoder* pour signer dans ce paradigme est très contraignant. En effet, du fait que le mot à décoder est quelconque, la condition sur le décodage devient : presque tout mot de l'espace ambiant  $\{0, 1\}^n$  peut se décoder efficacement. Or, le nombre attendu de mots de code à distance  $w$  d'un vecteur  $\mathbf{y}$  passe selon  $w$  de (i) exponentiellement élevé (ii) à zéro. Plus précisément, c'est dans une fenêtre très étroite autour du poids dit de « Gilbert-Vashamov »  $w_{GV}$  que nous nous attendons typiquement à un unique mot de code tandis que, pour des distances inférieures, il n'y aura aucun mot de code. Or, c'est précisément dans ces zones de distance faible qu'ont été développés

les algorithmes de décodage. Il semble donc difficile de suivre une approche à la McEliece avec des codes correcteurs pour fabriquer une signature.

Une des contributions de la première signature avec des codes [4] a été de remarquer qu'en contraignant suffisamment les paramètres des codes de Goppa (les codes proposés par McEliece), et plus précisément en choisissant leur dimension proche de leur longueur (*i.e.* :  $\mathcal{C} \approx \{0, 1\}^n$ ), ces derniers sont en mesure de décoder à une distance légèrement inférieure à  $w_{GV}$ . La densité des mots « décodables » est alors suffisamment proche de 1 pour tenter de décoder  $\mathbf{y}$ . Malheureusement le système de [4] souffre d'un problème de passage à l'échelle. Du fait que le code  $\mathcal{C}$  est de grande dimension, le décodage d'un code quelconque n'est plus un problème si difficile que cela et CFS est une signature impraticable.

### ***Trouver le mot le plus loin***

L'idée naturelle pour se défaire d'un tel carcan est de relâcher la contrainte d'un algorithme de décodage *stricto sensu* et donc l'existence d'un unique mot de code à la bonne distance, comme cela fut décrit pour la première fois dans [15]. Le paradigme n'est plus le même, on choisit une distance  $w$  telle que pour tout mot de l'espace ambiant il existe un nombre exponentiel de mots de code à cette distance fixée  $w$ . On cherche alors à retrouver efficacement pour tout mot de l'espace ambiant *l'un des mots de codes* à distance  $w$ . Il ne s'agit plus formellement de décodage mais plutôt de distorsion comme décrit en théorie des codes. Le souci étant maintenant que peu de familles de codes viennent avec un algorithme efficace pour résoudre ce problème. Nous pouvons citer les codes convolutifs ou encore les codes LDGM [18], mais ces-derniers ne résistent pas aux attaques, tout comme la suggestion des codes polaires [15].

Bien que non-sûrs car trop structurés, les codes polaires furent les prémisses de la proposition des codes  $(U, U + V)$  généralisés en signature avec Wave. Ces codes correspondent à des codes polaires à « un étage ». Un code polaire étant un code  $(U, U + V)$  où  $U$  et  $V$  sont eux-mêmes des codes  $(U, U + V)$  et ainsi de suite... Cette structure récursive permet un algorithme de décodage extrêmement efficace mais elle est impossible à cacher. En revanche, en suivant la même idée que les codes MDPC qui sont une version dégradée des codes LDPC, une structure à un étage peut se cacher tout en continuant à offrir une capacité de décodage.

Les codes  $(U, U + V)$  permettent de trouver efficacement  $\mathbf{c} \in \mathcal{C}$  à distance  $w$  de  $\mathbf{y}$ , quel que soit le mot  $\mathbf{y}$ . En revanche, ceci est possible pour des distances  $w$  telles qu'il existe typiquement de nombreux mots de code à cette distance. Cela pose alors problème car notre algorithme va devoir choisir un de ces mots de code. Il se peut alors que ce choix soit biaisé et dépende trop fortement de la « géométrie » du code. Ceci est problématique car toute personne malveillante peut collectionner plusieurs signatures, les étudier pour ensuite retrouver la structure cachée du code. On parle alors de *fuite d'information*. Le principe, pour se prémunir de ce grave défaut à moindre coût,

est alors complexe. Il faut filtrer ce que produit l'algorithme pour supprimer le biais. On parle usuellement de *méthode de rejet* (*rejection sampling*). L'objectif étant que notre algorithme produise  $\mathbf{c} \in \mathcal{C}$  tel que  $\mathbf{y} - \mathbf{c}$  soit uniforme parmi tous les mots de poids de Hamming  $w$ , assurant par définition l'indépendance entre les signatures et la structure cachée du code. Nous avons avec la signature Wave réussi à proposer un tel algorithme pour signer. En revanche, et de façon surprenante, cela fut possible en introduisant un nouveau paradigme du décodage. Avec Wave, nous travaillons dans le corps à trois éléments  $\{0, 1, 2\}$  et, pour un mot  $\mathbf{y}$  nous le « décodons » en trouvant un mot de code  $\mathbf{c}$  *très éloigné*. Ceci fut surprenant et contre-intuitif car ce problème de décodage en grande distance n'a aucun sens en télécommunication. Cependant, dans un contexte cryptographique, ce problème offre bien plus de degrés de liberté, ce qui s'est avéré crucial pour mettre en place la méthode de rejet. Le décodage en grande distance, nouveau paradigme semble alors, comme discuté dans cette thèse, très bien adapté à la cryptographie.

## Références

- [1] Erdal Arıkan. Channel polarization : a method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 55(7) :3051–3073, 2009.
- [2] Frank Arute, Kunal Arya, Ryan Babbush, Dave Bacon, Joseph C Bardin, Rami Barends, Rupak Biswas, Sergio Boixo, Fernando GSL Brandao, David A Buell, et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, 574(7779) :505–510, 2019.
- [3] Rémi Bricout, André Chailloux, Thomas Debris-Alazard, and Matthieu Lequesne. Ternary syndrome decoding with large weights. In *Selected Areas in Cryptography - SAC 2019 - 26th International Conference, Waterloo, ON, Canada, August 12-16, 2019, Revised Selected Papers*, pages 437–466, February 2019.
- [4] Nicolas Courtois, Matthieu Finiasz, and Nicolas Sendrier. How to achieve a McEliece-based digital signature scheme. In *Advances in Cryptology - ASIACRYPT 2001*, volume 2248 of LNCS, pages 157–174, Gold Coast, Australia, 2001. Springer.
- [5] Thomas Debris-Alazard, Nicolas Sendrier, and Jean-Pierre Tillich. Wave : A new family of trapdoor one-way preimage sampleable functions based on codes. In *Advances in Cryptology - ASIACRYPT 2019*, LNCS, Kobe, Japan, December 2019.
- [6] Thomas Debris-Alazard and Jean-Pierre Tillich. Statistical decoding. preprint, January 2017. arXiv :1701.07416.
- [7] Thomas Debris-Alazard and Jean-Pierre Tillich. Two attacks on rank metric code-based schemes : Ranksign and an identity-based-encryption scheme. In *Advances in Cryptology - ASIACRYPT 2018*, volume 11272 of LNCS, pages 62–92, Brisbane, Australia, December 2018. Springer.
- [8] Whitfield Diffie and Martin Hellman. New directions in cryptography. *IEEE transactions on Information Theory*, 22(6) :644–654, 1976.
- [9] Peter Elias. coding for noisy channels. *IRE conv. Rec.*, 3 :37, 1955.
- [10] Robert G. Gallager. *Low Density Parity Check Codes*. M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.

- [11] Richard Jozsa. Quantum factoring, discrete logarithms, and the hidden subgroup problem. *Computing in Science and Engineering*, 3(2) :34–43, 2001.
- [12] Florence J. MacWilliams and Neil J. A. Sloane. *The Theory of Error-Correcting Codes*. North-Holland, Amsterdam, fifth edition, 1986.
- [13] Robert J. McEliece. *A Public-Key System Based on Algebraic Coding Theory*, pages 114–116. Jet Propulsion Lab, 1978. DSN Progress Report 44.
- [14] Rafael Misoczki, Jean-Pierre Tillich, Nicolas Sendrier, and Paulo S. L. M. Barreto. MDPC-McEliece : New McEliece variants from moderate density parity-check codes, 2012.
- [15] Ayoub Otmani and Jean-Pierre Tillich. On the Design of Code-Based Signatures. In *Code-based Cryptography Workshop (CBC 2012)*, Lyngby, Denmark, May 2012.
- [16] Ronald L. Rivest, Adi Shamir, and Leonard M. Adleman. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Commun. ACM*, 21(2) :120–126, 1978.
- [17] Peter W. Shor. Algorithms for quantum computation : Discrete logarithms and factoring. In S. Goldwasser, editor, *FOCS*, pages 124–134, 1994.
- [18] Martin J. Wainwright, Elitza N. Maneva, and Emin Martinian. Lossy source compression using low-density generator matrix codes : analysis and algorithms. *IEEE Trans. Information Theory*, 56(3) :1351–1368, 2010.



# ZX-Calculs pour l'informatique quantique, et leur complétude

Renaud Vilmart <sup>1</sup>

---

*Renaud Vilmart a soutenu sa thèse<sup>2</sup> opérée au sein du LORIA sous la direction de Emmanuel Jeandel et Simon Perdrix le 19 septembre 2019 à l'université de Lorraine.*



Mes travaux de thèse ont porté sur des problèmes de complétude pour un langage graphique dédié au calcul quantique nommé ZX-Calcul.

### Approche graphique de l'informatique quantique

En calcul quantique, la brique élémentaire de l'information est un bit quantique, ou *qubit*. Un qubit est simplement une combinaison linéaire complexe des deux bits classiques 0 et 1. On peut ainsi voir un qubit comme un élément de  $\mathbb{C}^2$ .

La juxtaposition de deux systèmes quantiques s'obtient mathématiquement en effectuant leur produit tensoriel.

Ainsi, un état sur  $n$  qubits est représenté par un vecteur de  $\mathbb{C}^{2^n}$ , et un opérateur quantique, opérant sur un état de  $n$  qubits pour obtenir un état de  $m$  qubits est représenté par une application linéaire de  $\mathbb{C}^{2^n} \rightarrow \mathbb{C}^{2^m}$ . Du fait de la taille des espaces considérés, l'approche matricielle n'est pas idéale pour représenter opérateurs et états quantiques.

Pour résoudre ce problème, une inspiration peut être prise du côté « classique » du calcul, où les fonctions booléennes peuvent être représentées par des circuits booléens (cf. figure 1(a)). Dans ces derniers, l'information (bit) transite à travers des

---

1. [vilmart@lsv.fr](mailto:vilmart@lsv.fr).

2. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02395443>.

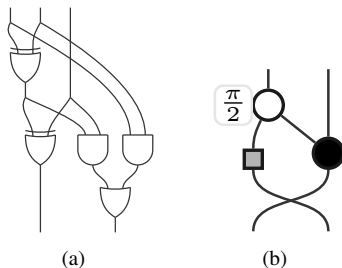









FIGURE 1. Un circuit booléen (a) et un diagramme ZX (b).

fil, auxquels sont appliquées des portes logiques. Les entrées et les sorties d’un programme sont visualisées par les fils du haut et du bas respectivement. Des programmes peuvent ensuite être composés et joignant les fils de sortie du premier circuit aux fils d’entrée du deuxième. Cette représentation a comme intérêt, entre autres, d’être proche d’une implémentation physique du calcul (les portes logiques sont réalisées sur nos ordinateurs par des transistors).

Différentes représentations graphiques des systèmes quantiques ont donc été introduites, parmi lesquelles les circuits quantiques (le modèle le plus fréquemment utilisé à l’heure actuelle), et le ZX-Calcul, qui a été au centre de ma thèse.

Le ZX-Calcul a été introduit en 2008 par Bob Coecke et Ross Duncan [1], et est issu de l’application de la théorie des catégories à l’informatique quantique. Les objets manipulés dans ce langage sont appelés des diagrammes (cf. figure 1(b)), et sont composés des portes élémentaires<sup>3</sup>  $\alpha$ ,  $\alpha$ , . Les deux premières sont duales l’une de l’autre, elles ont un nombre arbitraire d’entrées et de sorties, et sont paramétrées par un angle  $\alpha \in \mathbb{R}$ . Par convention, cet angle est choisi comme étant 0 s’il n’est pas spécifié.

Ces portes élémentaires peuvent ensuite être connectées par des fils, en utilisant , ,  et , et le résultat de ces compositions représente une application linéaire. Étant donné un diagramme  $D$ , on note  $\llbracket D \rrbracket$  cette application linéaire. En particulier,  $\llbracket \text{I} \rrbracket$  est l’identité sur  $\mathbb{C}^2$ , tandis que  $\llbracket \text{C} \rrbracket$  est un état intriqué (non séparable) particulier sur deux qubits.

Ces diagrammes obtenus par compositions des portes élémentaires permettent de représenter toutes les applications linéaires de dimension une puissance de 2. En d’autres termes, n’importe quel opérateur quantique  $\mathbb{C}^{2^n} \rightarrow \mathbb{C}^{2^m}$  peut être représenté



3. Les portes élémentaires sont en réalité verte, rouge, et jaune respectivement. Elles ont été adaptées en nuance de gris pour un tirage en noir et blanc.



On peut alors se demander si l'on dispose de *suffisamment* d'axiomes. C'est le problème de complétude. Le langage est dit *complet* s'il possède la propriété suivante :

$$\forall D_1, D_2, \llbracket D_1 \rrbracket = \llbracket D_2 \rrbracket \iff ZX \vdash D_1 = D_2$$

En d'autres termes, le langage est complet s'il possède suffisamment d'axiomes pour transformer un diagramme en un autre lorsqu'ils représentent tous deux le même opérateur.

Ce problème n'est pas aisé à résoudre, et a d'abord été traité pour des restrictions du langage (appelées *fragments*). Un fragment n'est en général plus universel, mais il peut être *approximativement universel*, c'est-à-dire que l'on peut approcher avec la précision voulue n'importe quel opérateur quantique avec des diagrammes du fragment. C'est le cas par exemple du fragment  $\frac{\pi}{4}$ , obtenu en restreignant les angles dans   $\alpha$  et   $\alpha$  à des multiples de  $\frac{\pi}{4}$ .

### Contributions

Au début de ma thèse, il n'existait pas de résultat de complétude pour un fragment approximativement universel du ZX-Calcul. Cette question de complétude dans un fragment approximativement universel peut d'ailleurs être également posée pour les circuits quantiques mais, à nouveau, sans réponse positive.

Une percée a été obtenue lorsque mes directeurs de thèse et moi avons donné un ensemble d'axiomes spécifique au fragment  $\frac{\pi}{4}$  et démontré sa complétude [4]. Notre méthode de preuve a ensuite été réutilisée par une équipe oxfordienne pour obtenir un résultat similaire dans le langage entier [3], au prix de l'introduction de nouveaux générateurs et d'un nombre conséquent d'axiomes. Nous avons ensuite nous-mêmes fourni un ensemble d'axiomes plus concis pour le langage sans restriction [5], puis affiné ce résultat via l'utilisation de formes normales [6]. Enfin, j'ai réduit l'ensemble d'axiomes à celui donné en Figure 2 en montrant que l'on préservait la complétude [8].

Ce dernier résultat est particulièrement intéressant, car on peut donner une interprétation très naturelle à chacun de ces axiomes, qui ont par ailleurs été démontrés comme étant (presque) minimaux (c'est-à-dire qu'aucun des axiomes ne peut être déduit des autres, à l'exception de (B) pour lequel il n'existe pas encore de preuve).

### Applications

Le ZX-Calcul possède deux propriétés très importantes, qui lui procurent une utilité particulière :

- (1) sa souplesse : en effet, il s'abstrait de contraintes physiques qui ont dicté la conception d'autres modèles comme les circuits quantiques ou le calcul par mesure. Cette souplesse lui permet entre autres d'unifier les différents modèles cités à l'instant. Le langage est d'ailleurs en train de gagner du terrain comme le langage par défaut pour décrire des systèmes quantiques ;

(2) sa théorie équationnelle, qui de plus est très intuitive. Celle-ci peut d'une part être utilisée pour prouver formellement qu'un processus quantique vérifie sa spécification, e.g. [2]. Elle peut, d'autre part, être utilisée pour optimiser l'implémentation de processus quantiques [7]. Cela fait du ZX-Calcul le candidat parfait pour un compilateur à l'interface d'un langage de programmation quantique haut-niveau et du matériel physique sur lequel les programmes vont être implémentés.

## Références

- [1] Bob Coecke and Ross Duncan. Interacting quantum observables : Categorical algebra and diagrammatics. *New Journal of Physics*, 13(4) :043016, Apr 2011.
- [2] Ross Duncan and Maxime Lucas. Verifying the Steane code with Quantomatic. In Bob Coecke and Matty Hoban, editors, *Proceedings of the 10th International Workshop on Quantum Physics and Logic, Castelldefels (Barcelona), Spain, 17th to 19th July 2013*, volume 171 of *Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science*, pages 33–49. Open Publishing Association, 2014.
- [3] Amar Hadzihasanovic, Kang Feng Ng, and Quanlong Wang. Two complete axiomatisations of pure-state qubit quantum computing. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS '18*, pages 502–511, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [4] Emmanuel Jeandel, Simon Perdrix, and Renaud Vilmart. A complete axiomatisation of the ZX-calculus for Clifford+T quantum mechanics. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS '18*, pages 559–568, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [5] Emmanuel Jeandel, Simon Perdrix, and Renaud Vilmart. Diagrammatic reasoning beyond Clifford+T quantum mechanics. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS '18*, pages 569–578, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [6] Emmanuel Jeandel, Simon Perdrix, and Renaud Vilmart. A generic normal form for zx-diagrams and application to the rational angle completeness. In *2019 34th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS)*, pages 1–10, June 2019.
- [7] Aleks Kissinger and John van de Wetering. Reducing the number of non-clifford gates in quantum circuits. *Phys. Rev. A*, 102 :022406, Aug 2020.
- [8] Renaud Vilmart. A near-minimal axiomatisation of zx-calculus for pure qubit quantum mechanics. In *2019 34th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS)*, pages 1–10, June 2019.





# Prix de thèse Gilles Kahn 2021

Clémentine Maurice et Charlotte Truchet

---

### PRIX DE THÈSE GILLES KAHN 2021

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 2021.**

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 Charlotte Truchet, 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 2022 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 2020, sous la présidence de Charlotte Truchet et avec l'assistance de Clémentine Maurice, secrétaire du prix, le jury était constitué de Marie Albenque, Aurélien Bellet, Julien Bourgeois, Raphaëlle Chaine, Thomas Chatain, Caroline Collange, Thomas Degueule, Hélène Fargier, Jean-Daniel Fekete, Jérôme Feret, Laure Gonnord, Steve Kremer, Christine LARGERON, Cédric Lauradoux, Olivier Ly, Assia Mahboubi, Clément Maria, Théo Mary, Vincent Nicomette, Laurent Perron, Pascal Poizat, Yann Ponty, Pierre Senellart, François Taiani, et Tristan Vaccon.

Comme il est d'usage, le jury est partiellement renouvelé chaque année, et totalement renouvelé tous les trois ans.

### ***Calendrier***

- 12 juillet 2021 : ouverture de l'interface web de soumission
- 13 septembre 2021 : date limite de dépôt des candidatures
- début décembre 2021 : notification des résultats aux candidats
- début 2022 : remise officielle du prix lors du congrès de la SIF

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

<https://easychair.org/conferences/?conf=prixsif21>

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

Peut candidater tout étudiant ou étudiante ayant soutenu son doctorat d'informatique dans une école ou université française entre le 1<sup>er</sup> septembre 2019 et le 31 août 2020. Toute candidature devra être explicitement soutenue par le(s) directeur(s) ou directrice(s) de thèse, qui ne peuvent en aucun cas soutenir deux candidats ou candidates.

Tous les documents doivent être déposés 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 et candidates sont invités à contacter par courrier électronique la secrétaire du prix, Clémentine Maurice ([clementine.maurice@irisa.fr](mailto:clementine.maurice@irisa.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 à Clémentine Maurice ([clementine.maurice@irisa.fr](mailto:clementine.maurice@irisa.fr)),
- des lettres de soutien complémentaires que le candidat ou la candidate jugerait utile de fournir au jury, directement envoyés par les personnes concernées à Clémentine Maurice ([clementine.maurice@irisa.fr](mailto:clementine.maurice@irisa.fr)).

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





## Les pièces magnétiques

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

#### LE SYSTÈME DE RÈGLES ESPERLUETTE

Le symbole typographique « & » porte le nom d'*esperluette*. Il donne son nom au système de trois règles ci-dessous. Dans la présentation des règles,  $x$  et  $y$  désignent des suites quelconques (éventuellement vides) de symboles pris parmi 0, 1 et &.

Règle  $r_1$  :  $&x \rightarrow 0&x$

Règle  $r_2$  :  $x0&&y \rightarrow x&0y$

Règle  $r_3$  :  $x0&y \rightarrow x1y$

La première règle signifie que si une suite de symboles pris parmi 0, 1 et & commence par &, on peut introduire un 0 devant la suite. La seconde règle signifie que si dans une suite de symboles pris parmi 0, 1, et & 0&&, alors on peut la remplacer par &0. De même, la règle 3 permet de remplacer 0& par 1.

---

1. Professeur émérite, université de Lille, campus scientifique, CRISAL UMR CNRS, 9189 Centre de recherche en informatique signal et automatique de Lille, bâtiment ESPRIT, 59655, Villeneuve d'Ascq Cedex France. E-mail : jean-paul.delahaye@univ-lille.fr.



— donc, quand on réussit à passer d'une écriture avec  $k$  fois & à une écriture avec uniquement des 0 et des 1, à chaque étape de transformation, l'entier représenté par les composantes A et B reste le même. La transformation opère donc la conversion de  $k$  en écriture binaire.

Reste à contrôler que l'application d'une règle  $r_1$ ,  $r_2$  ou  $r_3$  ne change pas le nombre représenté. C'est bien clair pour  $r_1$  car les zéros en tête d'une écriture binaire ne comptent pas. La règle  $r_2$  remplace 0& par &0. Elle remplace donc deux & qui valaient chacun  $2^i$ , où  $i$  est le nombre des 0 et 1 à droite de ces deux &, par un & qui vaut  $2^{i+1}$  puisqu'il y a un chiffre 0 en plus à sa droite. Dans le décompte de la composante B, on remplace donc  $2^i + 2^i$  par  $2^{i+1}$ ; ce qui ne le change pas. La règle  $r_2$  ne change pas la composante A. Le total ne change donc pas. Un raisonnement du même type montre que  $r_3$  ne change pas l'entier représenté.

Pour être certain que la méthode décrite opère la conversion de  $k$  en binaire, il faut donner la priorité aux règles  $r_1$  et  $r_2$  sur la règle  $r_3$ . Si on respecte ce principe de priorité alors les 0 introduits par  $r_1$  se déplacent uniquement vers la droite et ne sont arrêtés que lorsque la suite de symboles ne comportent plus deux & consécutifs, situation où l'utilisation de  $r_3$  ne peut pas faire réapparaître deux & consécutifs, et, où appliquée de manière répétée, elle fait disparaître tous les &.

## Nouveau problème

### LES PIÈCES MAGNÉTIQUES

On procède à des lancés successifs de pièces magnétiques dans une boîte à deux compartiments A et B. Au départ, il y a une pièce dans chaque compartiment. Quand on lance une nouvelle pièce magnétique, elle peut tomber dans le compartiment A ou dans le compartiment B. S'il y a  $x$  pièces dans A et  $y$  dans B, du fait de son magnétisme, la nouvelle pièce tombe dans A avec une probabilité  $\frac{x}{x+y}$  et dans B avec une probabilité  $\frac{y}{x+y}$ . On lance ainsi 1000 pièces magnétiques en plus des deux pièces initiales.

Quelle est la probabilité pour que le nombre de pièces s'équilibre exactement entre A et B quand on a lancé les 1000 pièces? Quelle est la probabilité pour que toutes les pièces lancées aillent en A? Indication : le résultat est simple.

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





# Réflexions sur la diffusion des connaissances à travers les grands colloques internationaux, les revues scientifiques, et la communication libre et rapide entre chercheurs et innovateurs dans un contexte de réduction de l’empreinte climatique

Groupe Diffusion de la science de l’Académie royale de Belgique<sup>1</sup>

*Préambule : Au début de l’année 2019, la classe Technologie et société de l’Académie royale de Belgique a suivi la proposition de son directeur d’orienter principalement ses travaux, durant deux ans, sur le thème de la Transition vers un futur désirable. Personne à ce moment n’imaginait que nous allions vivre une crise de l’ampleur de celle que nous traversons. La pandémie révèle le manque de résilience du monde dans lequel nous vivons ; elle en souligne particulièrement la complexité tout comme les interactions multiples qui lient les douze domaines que la classe avait souhaité aborder dans sa démarche. Si la santé est concernée au premier chef par la crise sanitaire, le monde de l’entreprise et du travail n’a pas manqué d’être directement impacté. Notre modèle économique et financier a été interpellé et la nécessité fut relevée de disposer d’infrastructures de bon niveau de même que d’une gouvernance capable de faire face à des situations critiques qui peuvent générer des*

1. Sous la direction d’Erol Gelenbe et composé de Guy Brasseur, Luc Chefneux, Véronique Dehant, Véronique Halloin, Jean-Paul Haton, Michel Judkiewicz, Bernard Rentier et Romain Weikmans.

*risques touchant à la paix et à la sécurité. Il est aussi apparu combien les valeurs de solidarité, de civisme et de cohésion sociale retrouvent toute leur importance, tandis que la nécessité des connaissances scientifiques et de l'expertise est mise en exergue. Les technologies disruptives (en particulier le numérique) nous offrent la possibilité de garder le contact, tout en suscitant parfois de sérieux problèmes de respect de la vie privée et des droits humains. Notre système d'éducation s'en trouve lourdement perturbé et l'impact sur l'environnement et le climat est tangible tandis que la nature retrouve (un peu) ses droits (ressources naturelles). Or, dès avant l'apparition de la pandémie, un large consensus s'était dégagé au sein du monde politique et économique ainsi que dans la population des pays européens sur la nécessité de réagir énergiquement face à la crise climatique de plus en plus manifeste, qui menace l'humanité à l'horizon d'une génération. Aussi, a fortiori, le redémarrage de l'économie mondiale au lendemain d'un lock-down sanitaire ne peut-il faire l'impasse sur la prise en compte du changement climatique et de ses conséquences sociales, potentiellement beaucoup plus graves encore que celles causées par la pandémie elle-même. Face à un défi aussi colossal, les Académies ne peuvent se contenter de poursuivre quîètement leurs activités comme par le passé. La classe Technologie et société de l'Académie royale de Belgique, en particulier, se doit d'apporter une contribution, même modeste, à la réflexion générale nécessaire à l'éveil de la conscience des citoyens et dont nos dirigeants devraient pouvoir se nourrir afin de prendre les décisions qui s'imposent. Cette problématique, dont il serait naïf de réduire le niveau de grande complexité, est promue à un intérêt croissant, car au cœur d'un développement harmonieux des sociétés. Si l'innovation technologique ne peut seule prétendre résoudre les problèmes auxquels le monde est confronté, elle devrait en effet être en mesure d'apporter des réponses efficaces qui, sans cesse, seront pourtant confrontées à la question de la transparence des procédures de recherche et à la publicité des résultats. Dans ce débat, l'Union européenne et ses États membres, dans leurs champs d'action respectifs, auront à intervenir et à se choisir une ligne de conduite, responsable et soucieuse du bien commun.*

Le développement de la science et de l'innovation associe différents acteurs de la société qui contribuent, chacun à sa manière, au progrès des connaissances, et, partant, au développement économique, social et culturel. Ces acteurs sont les scientifiques bien sûr, mais aussi des entreprises de toutes tailles, des collectivités territoriales, des villes, de grands ensembles nationaux, l'Europe et *in fine* le plus grand nombre possible de citoyens, car la science et l'innovation sont affaire de tous. Internet a accéléré la diffusion d'informations variées au sein de ce grand ensemble d'acteurs, et ceci nous oblige immanquablement à maintenir une science ouverte (Rentier 2018) qui permet de vérifier rapidement la validité d'informations qui peuvent avoir une importance pour notre bien-être, notre sécurité et notre santé.

La récente crise de la COVID-19 a montré, de manière évidente, que la gestion de la crise, mais aussi les déclarations infondées ou les pressions de l'opinion publique ne peuvent se substituer aux exigences de la démarche scientifique, à une recherche structurée, objective et transparente, et à une évaluation par les pairs. Elle illustre la nécessité absolue d'une transition vers une science ouverte. Ainsi, les résultats de la recherche, et notamment de la recherche financée par les deniers publics, se doivent d'être accessibles et les connaissances qui en résultent devraient rester librement disponibles, sans frais, pour tous les citoyens. Lorsque ces connaissances débouchent sur des inventions et des développements technologiques, il est cependant légitime que ceux-ci puissent être valorisés dans le respect des règles de la propriété intellectuelle.

En outre, on ne peut nier l'utilisation croissante des résultats d'une discipline par des spécialistes d'une autre ; parmi de multiples exemples, la chimie et la physique sont abondamment utilisées en biologie, des outils de l'ingénierie (comme la robotique) révolutionnent la pratique médicale, et que dire de l'usage de l'informatique qui touche pratiquement toutes les disciplines ! Or, cette interaction devenue banale accroît le besoin de partager et nécessite le transfert rapide des connaissances entre acteurs et entre disciplines.

Traditionnellement, ce partage à travers la communication se fonde à la fois sur les publications dans des revues scientifiques, sur l'organisation de séminaires et de grandes conférences internationales, sur l'éducation et la vulgarisation aussi. À ces moyens, viennent cependant s'ajouter les technologies modernes de l'information et de la communication, qui offrent désormais les principaux moyens matériels pour le stockage et la diffusion des connaissances.

La crise de la COVID-19 — qui a brusquement placé nos sociétés face à un problème d'autant plus préoccupant que, précisément, il faisait l'objet d'un déficit de connaissances —, associée aux interrogations que suscitait depuis plusieurs années déjà la nécessaire transition climatique, nous amène à reconsidérer la question de la communication scientifique et, notamment, les différentes formes de rencontres entre chercheurs (colloques, symposiums, congrès, réseaux sociaux numériques, etc.) qui entraînent fréquemment, pour certaines d'entre elles, de longs déplacements en avion. La situation actuelle, en effet, nous confronte à la fois à l'absolue nécessité de l'échange des connaissances et à un mode de communication imposé par les circonstances : les téléconférences et *chats* géants. Si leur existence se justifie pleinement à l'heure actuelle, que peut-il en être dans le futur ?

Il est clair pour tout chercheur que les rencontres humaines sont un moteur puissant de la démarche scientifique. Elles permettent de faire naître l'inspiration d'une recherche, d'éviter de s'engager dans une voie sans issue, déjà expérimentée par d'autres, de lancer des collaborations entre chercheurs qui travaillent sur des questions voisines ou identiques, de se jauger, de valider officieusement une démarche

expérimentale, de corroborer ou de valider des hypothèses risquées, avant d'entreprendre des démarches lourdes et longues. Ces rencontres permettent aussi d'établir des contacts qui déboucheront parfois sur un emploi, de préparer une transition de carrière, de mettre en place des séjours postdoctoraux pour de jeunes chercheurs ou un séjour de longue durée dans un établissement réputé. Cette possibilité de rencontres doit évidemment être préservée. Mais, une fois cette évidence rappelée, ne peut-on s'interroger davantage sur le sens et l'efficacité de nos déplacements dans le contexte de nos activités de recherche ?

## Les grands colloques internationaux et les ateliers

La publication traditionnelle, revue et validée par les pairs, ne répond pas à de nombreux besoins et situations, particuliers mais importants : un délai et des cycles de relecture (*refereeing*) et de révision parfois beaucoup trop longs, le barrage éventuel par des pairs qui peuvent se montrer extrêmement dubitatifs face à une réelle innovation ou un concept génial, un gaspillage de moyens et de temps si la voie suivie dans la publication soumise a déjà été explorée sans succès (et n'a par conséquent jamais connu de publication). En revanche, la participation, via des communications orales ou par affiches (*posters*) ou via un mélange des deux (*picco*), à cette diversité de colloques et symposiums qui se sont établis avec le temps dans différentes disciplines – et les moyens de communication rapide qu'ils offrent – permettent de tester le terrain et d'interagir à temps.

En outre, les forums de discussion en face à face dans de petits groupes (ateliers) permettent un brassage d'idées très enrichissant, qu'il est difficile de remplacer par une correspondance écrite, ou par des réunions via Internet.

Toutefois, Internet a permis d'offrir une alternative pratique à une partie de ces démarches, en créant de véritables forums de diffusion et de discussion qui réduisent les besoins de déplacement des participants, et qui facilitent aussi la participation de chercheurs disposant de budgets de voyage limités. En outre, un accélérateur puissant par rapport à la publication traditionnelle s'est développé sous la forme de plateformes ouvertes et gratuites (pour les auteurs et les lecteurs) favorisant la diffusion rapide de prépublications, comme arXiv. Si leur caractère ouvert et immédiat présente assurément des avantages, il n'est certes pas exempt d'inconvénients : il faut en effet que l'auteur puisse prendre date très officiellement pour pouvoir par la suite faire valoir l'antériorité de sa découverte ou de son invention, et qu'il accepte de s'exposer de manière transparente aux critiques et recommandations de ses pairs aux yeux de tous, et non plus dans la confidentialité éditoriale.

Les institutions de recherche et d'enseignement supérieur auraient donc intérêt à utiliser des plateformes fiables, permettant de communiquer aisément à distance, directement dans le cadre de grands colloques internationaux. Les institutions universitaires devraient être en capacité d'organiser de telles manifestations, tout comme

elles organisent de plus en plus fréquemment des cycles d'enseignement et de vulgarisation à distance.

Le groupe de travail recommande également que le dépôt de toutes les prépublications (*preprints*) de ces colloques sur des plateformes d'archivage fiables, pérennes, et gratuites pour les chercheurs, soit utilisé pour compléter les communications ou *abstracts* à de nombreux congrès. Cet archivage pourrait s'accompagner d'un processus de relecture (*refereeing*) et de révision d'articles, aboutissant à la validation de la publication sous la supervision d'un comité d'édition scientifique, avec l'apport des Académies qui accepteraient, le cas échéant, d'en assumer la responsabilité.

En outre, le groupe de travail insiste vivement sur la nécessité d'un dépôt de toute publication ou prépublication de la recherche publique sur des plateformes qui doivent rester en accès libre et gratuit.

Il convient de relier cet effort d'une part aux acquis actuels en matière d'*open science* réalisés en Allemagne (avec le financement forfaitaire des publications des chercheurs allemands chez un certain nombre d'éditeurs) et d'autre part aux négociations autour du Plan-S<sup>2</sup> qui vise un résultat analogue à travers l'Europe, en parallèle au support d'archivage ouvert pour les travaux de recherche financés par l'Union européenne.

Le groupe de travail propose également que les établissements d'enseignement supérieur et les organismes de recherche, comme tous les organismes publics et privés, puissent préciser leur politique en matière de déplacements internationaux, et évaluer l'opportunité de compensations pour les parts d'émissions de gaz à effet de serre qu'ils ne peuvent pas réduire.

Bien évidemment, la multiplication des forums de discussion et des plateformes d'archivage nécessite des investissements en matériels et logiciels, et donne lieu elle aussi à des consommations d'énergie et dès lors à des émissions de gaz à effet de serre ainsi qu'à d'autres consommations de ressources naturelles ayant un impact sur l'environnement<sup>3</sup> (Gelenbe et al. 2015, Campana et al. 2019).

Il ne s'agit donc pas d'une solution miracle et il ne faut pas se dispenser, ici aussi, d'un examen attentif du rapport efficacité-coût énergétique.

---

2. <https://anr.fr/fr/actualites-de-lanr/details/news/la-coalition-s-publie-la-version-finale-du-plan-s-et-de-son-guide-d-application-pour-le-libre-acces>; Plan S : *Making full and immediate Open Access a reality. Principles and Implementation, Principles and Implementation*, <https://www.coalition-s.org/addendum-to-the-coalition-s-guidance-on-the-implementation-of-plan-s/principles-and-implementation>.

3. The Guardian, 26/11/2019, <http://www.fasterthanexpected.com/2019/11/26/pointless-emails-theyre-not-just-irritating-they-have-a-massive-carbon-footprint/>

## Vers des couloirs de communication scientifique en Europe

Jusqu'ici, les réunions physiques dans le domaine de la recherche (colloques, séminaires, symposiums, conférences) constituaient la norme, tandis que les réunions virtuelles avaient un caractère d'exception. La crise de la COVID-19 a cependant entraîné un basculement rapide vers des réunions virtuelles, dont chacun a pu expérimenter tant les avantages que les limites. Une de ces carences demeure, par nature, la limitation des contacts physiques qui caractérisent les échanges humains indispensables à la recherche, en dépit de (ou grâce à) leur expression informelle et spontanée (les vertus des discussions à la pause-café ne sont plus à démontrer). Chacun sait combien notre capacité à faire progresser une recherche « par hasard », notre sérénité — à la suite d'une découverte inattendue ou d'une intuition fulgurante — peut bénéficier de tels contacts informels et des réunions présentielles. Cependant, la prise de conscience croissante de la nécessité d'un développement plus durable stimule depuis plusieurs années une réflexion sur les voyages qu'engendrent les manifestations scientifiques et sur l'alternative, partielle, qu'offrent les réunions virtuelles. Si les échanges entre personnes, dans le domaine de la recherche comme dans tous les secteurs de l'activité humaine, sont indispensables au développement des connaissances et des innovations dont nos sociétés ont besoin, nous ne ferons vraisemblablement pas l'économie d'une combinaison de réunions présentielles et virtuelles.

On peut alors imaginer des réunions régionales régulières et des réunions mondiales annuelles. Pour les réunions régionales, il conviendrait de mieux profiter des nombreuses villes européennes connectées par des couloirs de trains à grande vitesse, qui émettent beaucoup moins de gaz à effet de serre que l'avion (un rapport moyen de 1 à 20, selon l'Agence européenne pour l'environnement). En outre les trains, qu'ils soient normaux, rapides, voire de nuit, peuvent être plus commodes que l'avion si l'on prend en compte les délais des aéroports (accès, sécurité, temps d'enregistrement et attente), sous réserve de l'adéquation des horaires et de la fréquence de ceux-ci.

Le groupe de travail recommande donc, à la fois pour faciliter les contacts présentiels et limiter autant que possible l'empreinte carbone des déplacements des chercheurs, que soient développés des cycles de réunions régionaux.

En l'occurrence et notamment en Europe, ces réunions devraient être organisées dans des lieux qui constituent des nœuds intéressants reliés par des couloirs ferroviaires rapides. Des plénières mondiales pourraient être organisées selon un mode hybride, où certains seraient présents physiquement tandis que d'autres y assisteraient par téléconférence. On aurait ainsi une hiérarchie de réunions (locales, régionales et mondiales), clairement structurées et pouvant limiter les voyages énergivores. Les Académies et leurs réseaux (ALLEA, ICSU, Euro-CASE, CAETS, EASAC, etc.) pourraient s'impliquer davantage dans une telle structuration afin de contribuer à

la logistique adéquate et développer la diffusion des connaissances, tant à haut niveau, entre pairs, qu'en matière de vulgarisation intelligente et d'échanges avec les citoyens, les ONG, le public, et les jeunes.

## Évaluation de la recherche

L'évaluation des chercheurs et des structures de recherche est un élément essentiel dans le processus de recherche, tant pour juger de la qualité d'une recherche que pour motiver les chercheurs. Lorsqu'une évaluation est programmée, elle doit bien évidemment être réalisée par des pairs compétents, conformément aux standards internationaux.

Certes, tout examen qualitatif par des experts est nécessairement teinté d'une certaine subjectivité à laquelle on a souvent attribué le frein de l'évaluation par les pairs (*peer review*) dans la publication d'idées très novatrices, voire en rupture avec les modèles standard. Il faut en être conscient, et en tenir compte, car la révision par les pairs demeure, et à raison, la règle d'or du monde scientifique. Toutefois l'apport des pairs ne peut se limiter à un calcul sur les différents indices indirects rendant soi-disant compte de la productivité ou de la créativité du chercheur. Il doit consister en une véritable évaluation de la valeur réelle des publications, de leur apport à la science et de la contribution personnelle du chercheur à l'ensemble du travail, quelle qu'en soit sa part. En effet, une évaluation juste et équilibrée, autant que faire se peut, devra reposer sur les critères suivants : (a) la pertinence, la transparence et l'équité des évaluations, et (b) la compétence, l'intégrité et la diversité des évaluateurs.

La déclaration de San Francisco sur le processus d'évaluation DORA (*Declaration on Research Assessment*) de 2012 et le manifeste de Leiden de 2015 avaient pour but d'améliorer les pratiques d'évaluation des chercheurs à l'occasion de recrutements, de promotions ou d'évaluations individuelles. Ces documents, signés par de nombreuses institutions de recherche et de financement de celle-ci, ont alerté le monde de la recherche sur le mauvais usage de certains indicateurs bibliométriques, essentiellement :

- le facteur d'impact des revues (*Journal Impact Factor*, JIF) que son mode de calcul biaise en faveur de certaines revues et qui peut être manipulé ; de plus, lorsqu'il s'agit d'évaluations comparatives de chercheurs de domaines très différents, il ne tient pas compte de la diversité des pratiques disciplinaires ;
- le nombre total de citations (utilisant différentes sources), un indicateur souvent influencé par le nombre d'articles, le nombre de co-auteurs et qui peut s'avérer peu pertinent dans certains domaines ;

— l'indice H (*H-index*), un indicateur composite censé rendre compte simultanément du nombre de publications d'un chercheur et de leur impact scientifique ; cet indice, qui séduit par sa simplicité, dépend du nombre de publications, du JIF, mais aussi du nombre de citations par publication, et donc du nombre d'années qui se sont écoulées depuis la publication ainsi que de son influence sur une longue durée ; malheureusement, il est frappé du même défaut que le JIF dont il est en partie dérivé, tout en accordant une grande importance à la quantité de publications, ce qui a tendance à susciter la production d'une quantité anormale d'articles dont la valeur ajoutée est minimale ; combattre cette dérive, qui a fini par saturer le processus d'évaluation par les pairs en dégradant sa qualité et qui a engendré une prolifération de revues à but commercial, exigeant un paiement des auteurs pour être publiés, est aujourd'hui une nécessité.

Les principes de la science ouverte exigent ainsi une évaluation fondée sur de multiples critères, essentiellement qualitatifs, et réalisée par des pairs. Il s'agit d'une tâche longue et parfois fastidieuse, qui demande plus de compétence, d'efforts et de rigueur d'analyse que la simple addition de chiffres peu significatifs dans bien des cas. Elle ne doit pas se répéter trop fréquemment, vu sa lourdeur ; une périodicité de l'ordre d'une fois tous les cinq ans semble raisonnable. Elle ne doit pas se réduire aux indicateurs de publication, même si les publications demeurent un critère essentiel de l'évaluation des dossiers. L'abondance de publications – et le nombre de co-auteurs par article – ne sont pas nécessairement des mesures fiables de la qualité d'un chercheur ou de l'intérêt d'un projet de recherche, même si l'absence de publications est pratiquement éliminatoire et même si un faible nombre de publications par rapport à l'ancienneté en recherche doit certainement appeler à un examen vigilant de la contribution réelle, qui certes peut malgré tout s'avérer importante.

Dans la plupart des cas, l'auto-évaluation peut contribuer à cette approche plus qualitative, dans la phase initiale du processus. Dans un dossier d'auto-évaluation, il est demandé aux évalués de sélectionner leurs productions majeures<sup>4</sup> et, surtout, d'expliquer cette sélection : portée et impact d'une publication, contribution personnelle. Toutes les productions citées doivent être accessibles dans une archive institutionnelle ouverte. Les chercheurs doivent être autorisés à publier leurs manuscrits en les déposant sur un serveur de prépublication avant de les soumettre à la révision par les pairs, afin de susciter des commentaires de la communauté scientifique dont ils pourront tenir compte pour des adaptations éventuelles comme c'est déjà le cas en physique, en mathématique ou en économie. Il est important que les organismes de financement et autres parties prenantes encouragent ce principe de prépublication. Et tout document publié doit ensuite faire l'objet d'un dépôt en accès libre après son

---

4. Cette manière de procéder permet de s'attaquer à la tendance malsaine de publier de manière excessive dans le seul but d'augmenter son indice H.

acceptation dans sa forme définitive, sur un serveur institutionnel dès que l'éditeur le permet.

On voit que la science ouverte peut jouer un rôle central dans l'évaluation de la recherche. Ce fait doit être pris en compte par tous les acteurs : chercheurs, laboratoires, organismes de financement de la recherche, éditeurs. La situation évolue, lentement mais favorablement, et le rôle des Académies est de favoriser cette évolution.

Enfin, les méthodes d'évaluation devraient faire partie de la formation doctorale de tous les chercheurs. Elles touchent en effet à la question de l'intégrité scientifique, composante indispensable du métier de chercheur.

Le groupe de travail réaffirme donc le caractère central de l'évaluation des chercheurs et des structures de recherche par les pairs dans le processus de développement de la qualité de la recherche, tout autant que dans la motivation des chercheurs.

Ces évaluations ne doivent cependant pas être trop fréquentes, afin de leur conserver leur importance ; une périodicité de cinq ans serait un ordre de grandeur raisonnable. Elles doivent être menées, de toute évidence, en conformité avec les standards internationaux, en respect des exigences de transparence, de collégialité et d'égalité de traitement. L'avis écrit de pairs de haut niveau extérieurs à la structure ou à la personne évaluée est recommandé.

Il importe de considérer les spécificités de chaque domaine disciplinaire et de prendre en considération d'autres critères que la seule publication, tels que la volonté d'ouverture (accès libre aux publications ainsi qu'aux données de recherche, etc.), les résultats obtenus en matière de formation doctorale de jeunes chercheurs, le temps consacré à la formation des chercheurs et l'apport à la communauté scientifique aux niveaux local, national et international.

Il importe également de s'intéresser à la formulation des questions posées aux experts. Un processus qui tente d'obtenir des réponses claires sur des points spécifiques, souvent utilisé par les grandes universités américaines pour l'évaluation des enseignants-chercheurs, pourrait inspirer les questions soumises à l'attention des évaluateurs. Il pourrait s'avérer utile d'examiner, lors de l'évaluation d'un chercheur, d'un laboratoire, d'un organisme ou d'un programme de recherche :

- quels sont les quelques résultats importants obtenus par le chercheur (ou le laboratoire, etc.) au cours de la période soumise à évaluation, avec une précision concernant les publications correspondantes ?
- quelles sont les nouvelles questions que le chercheur (ou le laboratoire, etc.) a posées ou sur lesquelles il a travaillé et publié des travaux ?
- quels sont les projets collectifs auxquels le chercheur (ou le laboratoire, etc.) a contribué ou dans lesquels il a manifesté un *leadership* intellectuel ou organisationnel ?

— quels sont les services et apports importants du chercheur (ou du laboratoire, de l'organisme ou d'un programme de recherche) envers la communauté scientifique internationale, nationale, au sein de son établissement et de sa région, ou dont il a fait profiter les entreprises ?

## **L'empreinte carbone de la communication, de la formation et des échanges scientifiques**

Les universités et organismes de recherche, comme d'ailleurs la société dans son ensemble, sont de plus en plus conscients de l'importance de la transition climatique. Ils s'efforcent ainsi de mieux cerner l'empreinte carbone de leurs activités, d'établir leurs priorités sur ce sujet et de réaliser des économies dans leur consommation d'énergies non-renouvelables et dans leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Certains établissements en Europe ou ailleurs, comme l'EPFL ou la grande université de Vancouver (UBC), ont même pris l'initiative de publier leur bilan annuel en la matière.

Il en ressort que les déplacements pendulaires ou pour des motifs professionnels représentent plus de 50 % de l'impact CO<sub>2</sub> de ces établissements. La globalisation tellement promue de la formation universitaire et des échanges scientifiques entraîne nombre de déplacements en avion qui, en conséquence, pèsent dans cet ensemble d'un poids important sur les émissions, souvent de l'ordre de 30 % ou plus du total.

Toutefois, la difficulté relative de telles évaluations se perçoit aisément par quelques exemples. Ainsi, l'envoi d'une trentaine de courriels par jour pendant une année donne lieu à l'émission d'environ 600 kg de CO<sub>2</sub>, ce qui équivaut à environ 50 % des émissions annuelles d'un citoyen de l'Inde ; l'acquisition de 5000 € de matériel informatique représente pour sa part l'émission d'environ 2,8 tonnes de CO<sub>2</sub> (sans compter l'impact CO<sub>2</sub> de son fonctionnement), ce qui est supérieur aux 2,2 tonnes de CO<sub>2</sub> par passager d'un voyage aller-retour entre Bruxelles et Pékin<sup>5</sup>. Dans ces évaluations, les nombreux voyages des étudiants pour rejoindre leurs familles, quand les familles vivent dans un pays ou une ville différente, sont rarement pris en compte, malgré le fait que les étudiants constituent une part essentielle de la communauté d'une université. En effet, un établissement en Europe qui accueillerait 1000 étudiants nord ou sud-américains ou asiatiques, qui rentreraient chez eux deux fois par an, ajouterait environ 4 400 tonnes de CO<sub>2</sub> à son empreinte carbone, ce qui équivaut aux voyages de 420 enseignants-chercheurs grands voyageurs, qui se déplaceraient annuellement, pour chacun d'entre eux, deux fois en Asie, deux fois aux USA, et quatre fois en Europe en avion<sup>5</sup>.

On objectera qu'au regard des diverses activités humaines, comme les loisirs, l'empreinte carbone des chercheurs et des établissements scientifiques reste marginale. Mais sans doute ne faut-il pas négliger l'importance cruciale de l'exemplarité

---

5. <https://www.carbonfootprint.com/measure.html>.

de la communauté scientifique dont émanent précisément les recommandations visant à réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre.

Le groupe de travail suggère donc que les établissements et organismes de recherche, comme tous les organismes publics et privés, puissent publier un bilan annuel de leur consommation d'énergie ainsi qu'une estimation de leur empreinte CO<sub>2</sub>.

L'empreinte CO<sub>2</sub> des universités pourrait faire état des transports pendulaires des personnels et des étudiants, mais aussi comprendre une estimation de l'empreinte CO<sub>2</sub> des voyages des étudiants et des personnels, en montrant clairement, en compensation, la pertinence de leur apport à la stratégie des établissements, dont les objectifs d'internationalisation et de globalisation.

## Bibliographie

Rentier B., « Science ouverte. Le défi de la transparence », L'Académie en poche, 114, Bruxelles, Déc. 2018, ISBN 978-2-8031-0659-2, <https://orbi.uliege.be/handle/2268/230014>.

Gelenbe E. & Caseau Y., *The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions*, Ubiquity, Association for Computing Machinery (ACM), June 2015, <https://doi.org/10.1145/2755977>.

Campana M., Cuegniet J., Schmitt M., Siben C., « Réduire la consommation énergétique du numérique, rapport du Conseil général de l'économie », Nov. 2019, Paris, <https://www.economie.gouv.fr/cge/consommation-energique-numerique>.





# Le Chapitre français d'Eurographics et ses *Fellows*

Loïc Barthe<sup>1</sup>, Julie Digne<sup>2</sup>, Eric Galin<sup>1</sup>,  
Eric Guérin<sup>1</sup>, Nicolas Mellado<sup>1,2</sup>

---

## Le Chapitre français d'Eurographics et ses missions



L'association Chapitre français d'Eurographics<sup>3</sup> (EGFR) est un chapitre national de la société savante internationale Eurographics<sup>4</sup>. Son président est invité au conseil d'administration d'Eurographics et y présente les activités du chapitre deux fois par an. À cette occasion, il peut également échanger avec les autres présidents de chapitres nationaux. Eurographics finance ses chapitres en rétrocédant une partie des cotisations de ses adhérents en fonction de leur nombre par pays.

Le Chapitre français d'Eurographics a pour mission de contribuer à l'animation de la communauté scientifique française en informatique graphique, en liaison avec ses autres organismes français de représentation et d'animation (par exemple l'AFIG<sup>5</sup> et

1. Membre du CA d'EGFR.
2. *Young Researcher Fellow* EGFR.
3. <https://projet.liris.cnrs.fr/egfr/>
4. <https://www.eg.org/>
5. <https://www.asso-afig.fr/site/>

le GDR IG-RV<sup>6</sup>). Il participe à la promotion de l'informatique graphique sous tous ses aspects ainsi qu'à celle des activités de l'association Eurographics, comme par exemple ses conférences.

## Les *Fellows* EGFR

Cet article présente les actions que l'association a mises en place pour inciter ses membres à s'impliquer dans la vie de leur communauté tout en leur permettant d'apporter de nouvelles idées, de mettre en place de nouvelles actions, de mieux se connaître et de travailler ensemble. Un objectif complémentaire est d'essayer d'accroître de manière durable le dynamisme de la communauté ainsi que son unité.

Nos actions sont articulées autour du conseil d'administration (CA) de façon à créer des interactions et du lien entre les membres de différentes générations et de différentes visibilités scientifiques. Cette volonté de synergie n'est pas nouvelle : depuis une quinzaine d'années, EGFR pilote un jury pour le prix du meilleur papier des journées nationales d'informatique graphique (j-FIG). Ce jury est composé de jeunes permanents de la communauté ainsi que de quelques chercheurs plus expérimentés. Outre ce jury, EGFR a récemment créé deux distinctions : les « *Young Researcher Fellows* EGFR »<sup>7</sup> et les « *Fellows* EGFR »<sup>8</sup>.

### *Young Researcher Fellow* EGFR (YRF)

Créé en 2019, ce titre honorifique est décerné annuellement par un jury à un jeune chercheur établi dans une institution française en reconnaissance de son excellence scientifique et de sa participation à la vie de la communauté d'informatique graphique française et internationale. À titre exceptionnel, le CA d'EGFR peut aussi directement décerner ce titre et il est automatiquement proposé aux *Junior Fellows Eurographics* travaillant dans une institution française. En acceptant le titre décerné par le jury, le jeune chercheur se voit offrir son inscription à Eurographics pour deux ans. Il s'engage aussi à :

- être *chair* du jury du prix du meilleur papier des journées nationales pendant les deux années à venir. Il le supervisera ensuite les deux années suivantes ;
- donner une présentation longue pendant les journées nationales de l'année de sa nomination ;
- participer en tant que membre invité au CA d'EGFR durant les deux années à venir. Il restera membre invité pendant plusieurs années ensuite.

---

6. <https://gdr-igrv.icube.unistra.fr/>

7. <https://projet.liris.cnrs.fr/egfr/yrf/>

8. <https://projet.liris.cnrs.fr/egfr/fellows/>

## ***Fellows EGFR***

Créé en 2020, ce titre est décerné à des personnalités reconnues internationalement pour l'excellence de leurs recherches en informatique graphique et qui ont une forte implication dans l'animation et le pilotage de la communauté scientifique. Ils sont nommés par le CA d'EGFR et sont des invités permanents des réunions de ce CA. Ils peuvent aussi être consultés par le CA pour répondre à des questions scientifiques ou stratégiques, communiquer directement des informations qui leur semblent pertinentes, ou faire des suggestions.

## **Impact sur l'animation de la communauté**

Ainsi, en pilotant le jury du meilleur papier, les YRF travaillent et échangent avec les jeunes chercheurs de la communauté. Ils les font bénéficier de leurs premières expériences en matière d'évaluation scientifique sous couvert des séniors du jury. Ils rendent compte au CA des soumissions aux journées nationales et participent au CA d'EGFR, durant lequel il leur est demandé de faire part de leurs remarques et suggestions. Ils peuvent aussi s'investir sur des missions spécifiques. En 2020, un YRF a proposé l'organisation de séminaires en distanciel à l'échelle nationale<sup>9</sup> et la mise en œuvre de ces séminaires impliquant des sommités internationales et des jeunes chercheurs d'institutions françaises est portée par deux YRF. Sur les aspects un peu plus festifs, les YRF organisent « la bière des YRF » la veille du repas de gala pendant les journées nationales.

Les *Fellows*, quant à eux, permettent aux membres du CA et aux YRF de prendre connaissance de ce qu'il se passe dans des instances à spectre plus large ou internationales. Ils permettent aussi de se faire une idée plus précise du positionnement de notre thématique scientifique par rapport aux autres ainsi que la visibilité de notre communauté. En participant aux réunions du CA, ils rencontrent aussi les YRF et ils ont ainsi une meilleure connaissance des forces vives de la communauté.

Il est aussi intéressant de mentionner qu'en réfléchissant aux potentielles nominations, les membres du CA d'EGFR prennent connaissance du parcours des jeunes de la communauté. De plus, le jury du YRF est composé de personnalités reconnues, qui, elles aussi, sont amenées à mieux connaître le parcours de plusieurs jeunes. Ceci permet ainsi à des chercheurs plus seniors de penser aux jeunes français pour des évaluations, des comités (thèse, conférences), des prix, etc.

## **Conclusion**

Parmi les activités du Chapitre français d'Eurographics nous venons de présenter celles que nous avons mises en place à ce jour pour dynamiser et augmenter le sentiment d'appartenance à la communauté, impliquer les plus jeunes, créer du lien

---

9. <https://projet.liris.cnrs.fr/egfr/webinars/>

entre les générations et les chercheurs de différentes visibilitées internationales, accroître les interactions et assurer la relève pour l'animation de notre communauté scientifique.

## ADHÉRER À LA SIF

La Société informatique de France est un espace de réflexion, de concertation sur les enjeux de l'informatique, mais aussi un espace d'actions, basé sur le travail de la communauté, qui vise à rassembler toutes celles et tous ceux pour qui faire progresser l'informatique est un métier ou une passion : enseignants, chercheurs, ingénieurs, industriels, consultants et étudiants.

Les adhésions sont valables 12 mois à compter de la date d'adhésion.

### Personnes physiques

Tarif plein : 30 €

Tarif réduit : 15 €

- Membre d'un adhérent institutionnel de la SIF.
- CDD, CDI depuis moins de 2 ans, retraité.
- Membre d'une association partenaire, ou de l'ACM.

Gratuit : étudiants, doctorants et post-doctorants.

La SIF vous offre la possibilité d'effectuer le règlement de la cotisation directement en ligne.

### Partenaires (Personnes morales)

Les associations partenaires, membres du Conseil des associations de la SIF, ne paient pas de cotisation. Les institutions telles que laboratoires, unités d'enseignement, ou entreprises, peuvent adhérer en tant que telles à la SIF. Il n'existe pas de tarif spécifique pour les adhérents institutionnels : en fonction de leur taille, de leur secteur d'activité, l'importance de l'effort ne se mesure pas de la même façon.

La SIF propose cinq niveaux de cotisation. Pour vous aider dans votre choix, vous trouverez ci-dessous une indication du tarif en fonction de la taille de l'adhérent institutionnel :

- Tarif 1 : 250 € (moins de 50 personnes)
- Tarif 2 : 500 € (de 50 à 100 personnes)
- Tarif 3 : 1000 € (de 100 à 150 personnes)
- Tarif 4 : 1500 € (de 150 à 200 personnes)
- Tarif 5 : 2000 € (au delà de 200 personnes)

Pour adhérer, vous devez contacter notre trésorier. Pour toute question, ne pas hésiter à contacter notre secrétariat.

Plus d'informations sur notre site internet :

<https://www.societe-informatique-de-france.fr>



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