



Avril
2023

numéro
21

1024

Bulletin de la Société informatique de France



COMITÉ DE RÉDACTION

SYLVIE ALAYRANGUES
Université de Poitiers

OLIVIER BAUDON
Université de Bordeaux

YVES BERTRAND
Université de Poitiers

JEAN-PAUL DELAHAYE
Université de Lille

ISABELLE DEBLED-RENNESON
Université de Lorraine

GIUSEPPE DI MOLFETTA
Université Aix-Marseille

MARIE DUFLLOT-KREMER
Université de Lorraine

FRÉDÉRIC HAVET
CNRS, Université Côte d'Azur

PHILIPPE MARQUET
Université de Lille

BAPTISTE MÉLÈS
CNRS, Université de Lorraine

PATRICE NAUDIN
Université de Poitiers

PIERRE PARADINAS
CNAM Paris

NICOLAS PASSAT
*Université de Reims
Champagne-Ardenne*

MICHEL RAYNAL
Université de Rennes

LAURENT RÉVEILLÈRE
Université de Bordeaux

NATHALIE REVOL
Inria, Université de Lyon

NANCY RODRIGUEZ
Université de Montpellier

FLORENCE SÈDES
Université de Toulouse

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 d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0. Pour voir une copie de cette licence, visitez <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-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 réalisée par l'agence graindecel, <https://www.bauwensceline.com>.

SOMMAIRE DU N° 21



SIF

Impact de la réforme du lycée sur l'enseignement de l'informatique : bilan et perspectives, <i>Communiqué de la SIF</i>	3
Diplômés pour le numérique et l'informatique en France : chronique d'une pénurie annoncée, <i>Communiqué de la SIF</i>	13
Journée autour du doctorat, <i>Lou Grimal, Nicolas Courilleau, Nicolas Passat</i>	19

ACTUALITÉS

CNU : mode d'emploi, <i>Dartigues-Pallez, Magnin, Bruel, Bonzon, Passat, Sèdes, Seinturier</i> ..	27
La SFP fête ses 150 ans : la SIF y était ! <i>Camille Salinesi</i>	39

DU CÔTÉ DES ASSOCIATIONS

AFIG	43
------------	----

LES 10 ANS DE LA SIF

Enseignement de l'informatique : 10 ans d'actions, <i>Christine Froidevaux</i>	47
Enjeux de la prochaine décennie, <i>Isabelle Debled-Rennesson, Basile Sauvage, Jean-Marc Vincent</i>	57
Table ronde sur une culture générale en informatique, <i>Isabelle Debled-Rennesson, Fabien Tarissan</i>	65

ENSEIGNEMENT

Introduire les enjeux environnementaux et sociétaux du numérique en L3 informatique, <i>V. Emiya, J. Lefèvre, F. Olive, P.-A. Reynier, C. Travers</i>	83
Vers une méthode pédagogique innovante pour former les étudiants aux approches agiles dans l'enseignement supérieur : A.L.P.E.S, <i>Jannik Laval, Mathieu Vermeulen</i>	93
La Nuit de l'info, <i>Le bureau de la Nuit de l'info</i>	103

ENTRETIEN

Entretien avec Isabelle Guérin Lassous, présidente du jury du CAPES Numérique et sciences informatiques (NSI), <i>Olivier Baudon et Charles Poulmaire</i>	105
Entretien avec Sylvie Boldo, présidente de l'agrégation d'informatique, <i>Olivier Baudon et Charles Poulmaire</i>	121
Entretien avec Peggy Vicomte, déléguée générale de l'association Femmes@Numerique, <i>Florence Sèdes</i>	139

FEMMES ET INFORMATIQUE

Une informaticienne élue présidente de Sorbonne Université ! *Florence Sèdes* 145

FICTION

L'équation, *Gérard Chouteau* 147

HISTOIRE

Arithmétique du Bull Gamma 3, *Alain Guyot* 153

PRIX ET DISTINCTIONS

Bilan du prix de thèse Gilles Kahn 2022, *Marthe Bonamy et Yann Ponty* 165

Design de langage dédié orienté vers la preuve pour le logiciel critique, *Denis Merigoux* 167

Self-supervised learning of deep visual representations, *Mathilde Caron* 171

Systèmes de fonctions holonomes, application à la théorie des automates, *Florent Koechlin* . . . 173

SCIENCE

Sur quelques évolutions récentes en cryptologie post-quantique, *Franck Leprévost* 185

TÉMOIGNAGE

Retour d'expérience sur le concours Ma thèse en 180 secondes, *Dima El Zein* 199

RÉCRÉATION

L'impossible surveillance générale, *Jean-Paul Delahaye* 205



Impact de la réforme du lycée sur l'enseignement de l'informatique : bilan et perspectives

Communiqué de la SIF

Dans la réforme du lycée général de 2019, l'apparition de la spécialité Numérique et sciences informatiques (NSI) a porté l'enseignement de l'informatique au même rang que l'enseignement des disciplines plus classiques, comme les mathématiques, la physique-chimie (PC) ou les sciences de la vie et de la terre (SVT). Cette apparition est en phase avec l'omniprésence de l'informatique aussi bien dans nos vies quotidiennes, dans les processus technologiques les plus sophistiqués, que dans les avancées scientifiques qui les portent. Aujourd'hui l'informatique, comme la chimie par exemple, est reconnue à la fois comme une science, une technologie et un secteur industriel à croissance rapide. Son enseignement au lycée est donc crucial pour qu'elle continue à se développer. C'est pourquoi l'objet de ce document est d'apporter un éclairage sur l'évolution, la situation actuelle et les perspectives d'évolution de l'enseignement de l'informatique au lycée depuis son introduction en 2012, et en particulier depuis sa transformation en spécialité à part entière depuis 2019¹.

Enseignement de l'informatique au lycée

De 2012 à 2018 au lycée général, l'informatique apparaît uniquement comme enseignement de spécialité de deux heures hebdomadaires en terminale S. La réforme du lycée crée en 2019 un enseignement de spécialité spécifique : Numérique

1. Les données chiffrées de ce document proviennent des notes de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance du ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et des sports : notes n° 20.38, 21.12, 21.22, 21.23, 21.41, 22.19.

et sciences informatiques, accessible dès la première pour tous les élèves à raison de quatre heures en première et six heures en terminale comme les autres spécialités. Avant la réforme, environ 19 000 élèves en terminale suivaient (en 2019) la spécialité informatique. Après la réforme, environ 38 000 élèves suivent la spécialité NSI en première et 16 000 en terminale (données 2021). Le volume horaire par élève a été multiplié par cinq (cf. figure 1.a) et l'offre globale d'heures hebdomadaires par pratiquement 7 (cf. figure 1.b).

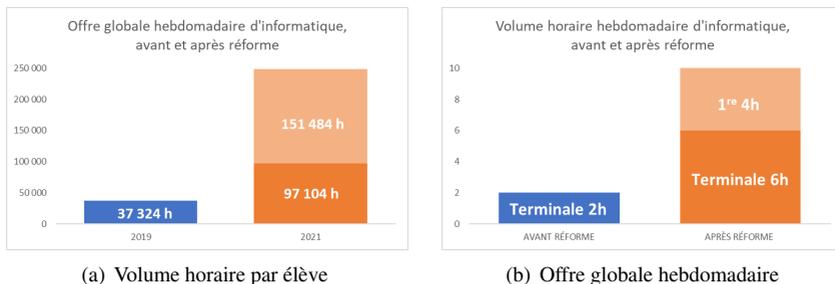


FIGURE 1. Volumes horaires

Répartition des effectifs en informatique en terminale avant et après réforme et part des filles

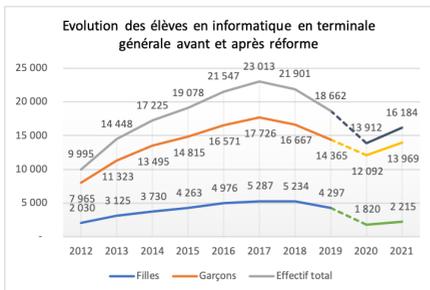
On observe une baisse modérée des effectifs des élèves en informatique en terminale depuis la mise en place de la réforme (− 14 % en 2021) (cf. figure 2.a), mais un décrochage net de la part des filles dans une discipline déjà très peu féminisée (de 23 % en 2019 à 13,7 % en 2021, cf. figure 2.b).

Suivi des effectifs entre la première et terminale et part des filles

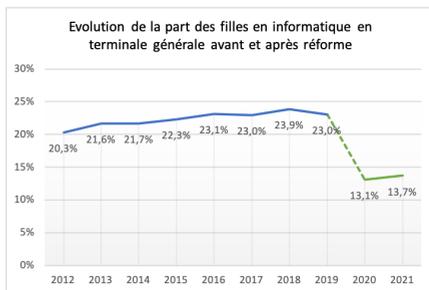
En raison du passage de trois spécialités en première à deux en terminale, on s'attend à une baisse mécanique d'environ 33 % des élèves pour chaque spécialité (cf. figure 3). On observe en première :

- un nombre d'élèves choisissant NSI de près de 35 000, avec une tendance à la hausse de près de 10 % des élèves entre 2019 et 2021 ;
- une part des filles d'environ 18 %, avec une tendance à la hausse également entre 2019 et 2021 ;
- en 2021, un peu moins de 31 000 élèves choisissent NSI avec la spécialité maths, pourtant indispensable pour la poursuite d'études scientifiques.

Entre la première et la terminale, on observe :



(a) Effectifs en terminale



(b) Part des filles en terminale

FIGURE 2. Effectifs.

- un taux d’abandon très important entre la première et la terminale, supérieur à 50 % ;
- un taux d’abandon encore plus marqué pour les filles, qui concerne deux filles sur trois.

La spécialité la plus abandonnée est sciences de l’ingénieur (SI) : elle l’est par 64,9 % des élèves. La spécialité NSI arrive en troisième position des spécialités les plus abandonnées avec 53,8 % d’abandon, sachant que la deuxième spécialité (Littérature et langues et cultures de l’Antiquité) n’a pas d’effectifs significatifs.

Ensuite, la spécialité scientifique la plus abandonnée est la spécialité maths, avec 40,3 %, ce taux s’expliquant par le fait qu’une fille sur deux l’abandonne.

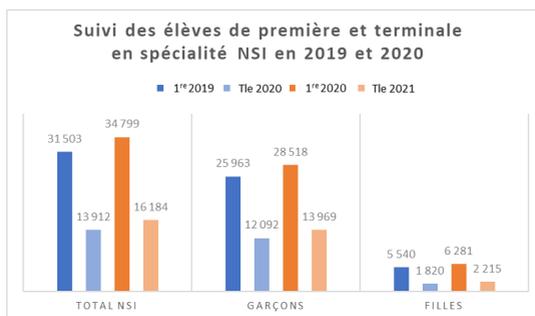
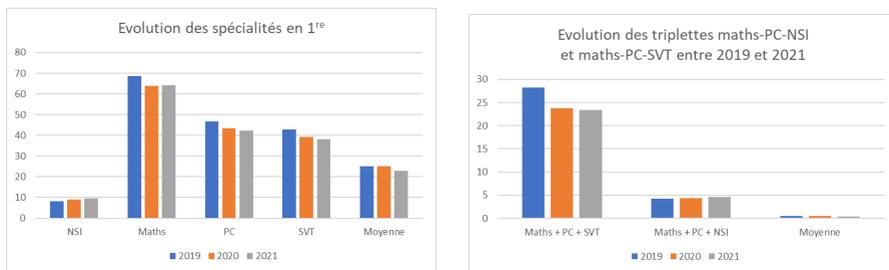


FIGURE 3. NSI de la première à la terminale.



(a) Évolution des spécialités en première (en %).

(b) Évolution des triplettes maths-PC-SVT et maths-PC-NSI (en %).

FIGURE 4. Évolution des spécialités

Place de la spécialité NSI en première parmi les autres spécialités : évolutions et niveaux

NSI en première de 2019 à 2021, légère hausse, niveau très bas

La spécialité NSI en première de 2019 à 2021 est en légère hausse mais à un niveau très bas (cf. figure 4.a). Le pourcentage moyen de choix d'une spécialité est de 25 % en 2019 et 2020 (3 spécialités / 12²). En première, le choix de la spécialité NSI progresse, passant de 8,1 % en 2019 à 9 % en 2020 et 9,6 % en 2021 malgré l'apparition d'une treizième spécialité en 2021. Les baisses des spécialités maths (moins 4,6 points), PC (moins 4,4 points) et SVT (moins 4,8 points) ne bénéficient que marginalement à la spécialité NSI (plus 1,5 point), qui demeure à un niveau très en dessous du pourcentage moyen de choix.

Maths-PC-NSI en première de 2019 à 2021, légère hausse, niveau très bas

La triplette maths-PC-NSI en première de 2019 à 2021 est en légère hausse mais à un niveau très bas (cf. figure 4.b). Le pourcentage moyen de choix d'une triplette est de 0,45 % (1 / 220³). La triplette maths-PC-SVT correspondant à l'ex-filière S qui regroupait 52 % des élèves passe de 28,3 % des élèves en 2019, à 23,8 % en 2020 et 23,4 % en 2021. Avec 4,2 % des élèves en 2019 et 4,3 % des élèves en 2020 (et 4,6 % en 2021), la triplette maths-PC-NSI se hisse au cinquième rang des triplettes les plus choisies, parmi 220 triplettes possibles (286 en 2021). Mais la baisse de la triplette maths-PC-SVT (moins 5 points en deux ans) ne bénéficie que marginalement à la triplette maths-PC-NSI (plus 0,4 point en deux ans).

2. Trois spécialités sur 13 = 23 % en 2021.

3. 1 / 286 = 0,35 % en 2021.

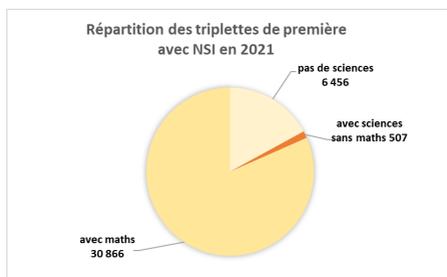


FIGURE 5. Les autres spécialités associées à la spécialité NSI.

À quelles spécialités la spécialité NSI est-elle associée en première ?

Observer les spécialités associées à la spécialité NSI en première (cf. figure 5) permet d'anticiper les profils d'élèves qui arriveront un an plus tard dans l'enseignement supérieur, parce que de ces choix de première découlent naturellement ceux de terminale.

En 2021, 81,6 % des élèves ayant choisi la spécialité NSI ont choisi la spécialité maths, 17,1 % n'ont choisi ni la spécialité maths ni aucune autre spécialité sciences, et seuls 1,3 % ont choisi au moins une spécialité scientifique mais sans la spécialité maths. La question du devenir des élèves visant des études scientifiques et ayant choisi la spécialité NSI sans la spécialité maths se pose.

Place de la spécialité NSI en terminale parmi les autres spécialités : évolutions et niveaux

NSI en terminale en 2020 et 2021, en hausse, niveau bas

Le pourcentage moyen de choix d'une spécialité est de 16,6 %⁴. La spécialité NSI est choisie par 3,7 % des élèves en terminale en 2020 et 4,3 % en 2021. De 2020 à 2021 le choix de la spécialité maths passe de 41,1 % à 37,5 %, celui de la spécialité PC de 33,7 % à 31,2 % et celui de la spécialité SVT de 26,9 % à 25,8 %. Ces trois spécialités correspondant à l'ex-filière S perdent plus de 7 points en un an, mais moins de 10 % de cette perte bénéficie à la spécialité NSI. La spécialité NSI n'est que la huitième spécialité choisie parmi les 12 spécialités possibles en 2020 (13 en 2021).

La spécialité NSI est suivie par 13,1 % des filles en 2020 et 13,7 % en 2021 alors que, hormis la spécialité SI qui est à un niveau comparable, toutes les autres spécialités sont suivies par plus de 41 % de filles en 2020 et plus de 39 % en 2021. Seules

4. Deux spécialités sur 12 avant 2021, deux spécialités / 13 = 15,3 % depuis 2021.

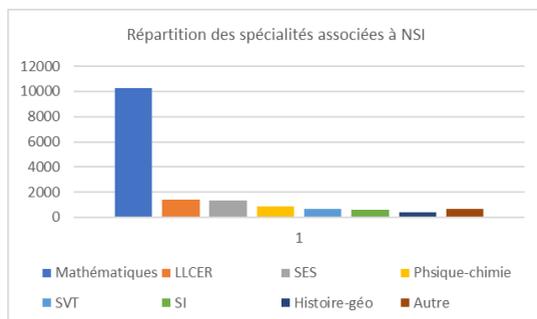


FIGURE 6. Effectifs des spécialités associées à la spécialité NSI.

1,1 % des filles ont choisi la spécialité NSI en terminale en 2021, soit 2215 filles au total, sur les 16 184 élèves concernés.

Maths-NSI en 2020 et 2021, en hausse, niveau bas

Le pourcentage moyen de choix d'une doublette est de 1,5 %⁵. De 2020 à 2021, le choix de la doublette maths-PC passe de 19,5 % à 17,2 %, celui de la doublette PC-SVT de 12,9 % à 12,6 % et celui de la doublette maths-SVT de 7,2 % à 5,7 %. La doublette maths-NSI est choisie par 2,5 % des élèves en 2020 et par 2,7 % en 2021. Elle se classe au onzième rang des doublettes choisies en 2020 et au dixième en 2021. La doublette maths-NSI présente une répartition en catégories socio-professionnelles (CSP) analogue à la répartition de l'ensemble des élèves, contrairement à la doublette maths-PC pour laquelle les CSP très favorisées sont sur-représentées.

Alors que les filles représentent 56 % des effectifs, la doublette maths-NSI ne comporte que 10 % de filles en 2020 et 10,7 % en 2021. En revanche, les autres doublettes scientifiques, exceptée maths-SI qui comporte 12,1 % de filles en 2020 et 12,6 % en 2021, comportent plus de 35 % de filles en 2020 et plus de 34 % en 2021. Si, comme le note la DEPP, « *les filles sont sous-représentées dans les enseignements scientifiques* », elles sont quasiment absentes de la spécialité NSI.

À quelles spécialités la spécialité NSI est-elle associée en terminale ?

La spécialité maths représente à elle seule plus de 63 % des effectifs de la spécialité NSI en 2021, mais seulement 50 % des effectifs des filles.

La figure 6 indique les effectifs des principales spécialités associées à la spécialité NSI dans les doublettes en 2021. On retrouve ce qui apparaît en première : lorsque la spécialité maths est absente, ce sont majoritairement les spécialités de sciences humaines et sociales qui sont associées à la spécialité NSI.

5. 1 sur 66 doublettes possibles avant 2021, 1 sur 78 doublettes possibles depuis 2021.

Points positifs pour la spécialité NSI : évolutions à la hausse

La spécialité NSI apparaît au lycée au même titre que les spécialités « classiques ». En première, le choix de la spécialité NSI évolue à la hausse sur 3 ans. Le choix de la tripléte maths-PC-NSI évolue à la hausse sur 3 ans, au-dessus du pourcentage moyen de choix. En terminale, le choix de la spécialité NSI évolue à la hausse sur 2 ans. Le choix de la doublette maths-NSI évolue à la hausse sur 2 ans, au-dessus du pourcentage moyen de choix.

Points négatifs pour la spécialité NSI : taux très bas

La spécialité NSI est l'une des spécialités les plus abandonnées entre la première et la terminale. En première, la spécialité NSI demeure à moins de 10 % alors que le pourcentage moyen de choix est de 25 %. En terminale, le choix de la spécialité NSI demeure à moins de 5 % alors que le pourcentage moyen de choix est de 16,6 %. La spécialité NSI ne comporte que 13,7 % de filles en 2021. La doublette maths-NSI ne comporte que 10,7 % de filles en 2021.

Perspectives pour juguler les points négatifs

Fort abandon de la spécialité NSI entre première et terminale

Le problème. La spécialité NSI est bien plus fortement abandonnée en terminale que les spécialités scientifiques maths, PC et SVT. Alors que l'abandon assez élevé de la spécialité maths s'explique pour l'essentiel par le fait qu'une fille sur deux l'abandonne, ce n'est pas le cas pour la spécialité NSI qui souffre dès la première d'un taux de filles très bas. Son abandon s'explique par un repli des élèves vers des spécialités qui caractérisent les séries du baccalauréat d'avant la réforme. En première les élèves privilégient des spécialités connues, et renforcent cette attitude en terminale. La nécessité d'abandonner une spécialité en terminale réduit la largeur du profil de formation de l'élève et se fait souvent au détriment de la spécialité NSI à laquelle est préférée, pour les profils d'élèves scientifiques, une doublette plus classique telle que maths/PC ou maths/SVT par exemple.

Une solution. Elle consisterait à conserver en terminale les trois spécialités choisies en première. Les avantages sont nombreux : simplification du processus d'orientation, simplification de la gestion humaine des lycées, élargissement du profil des élèves, continuité du groupe classe entre la première et la terminale. C'est vrai aussi bien pour les profils très scientifiques que pour certains profils moins spécialisés pour lesquels suivre NSI aurait également du sens.

Faible choix de la spécialité NSI en première et terminale

Le problème. Le choix de la spécialité NSI demeure bas, mais est en progression en première sur trois ans. Cette spécialité n'est proposée que dans la moitié des lycées.

Une solution. Pour que la spécialité NSI puisse voir ses chances d'être choisie, il est indispensable que tous les lycées proposent la spécialité NSI. Associé au maintien des trois spécialités en terminale, ce déploiement facilitera la tâche des établissements en permettant de constituer des groupes de spécialité en première qui perdurent en terminale. Il conviendra alors également que les CPGE et les établissements communiquent, pour leurs formations scientifiques liées au numérique et à l'informatique, sur la nécessité d'avoir suivi la spécialité NSI dans son entièreté.

Très faible taux de filles en première et terminale

Le problème. Le très faible taux de filles en spécialité NSI semble trouver sa source bien en amont du lycée. Dès l'école primaire, les stéréotypes de genre battent son plein, et s'accroissent à mesure que le niveau de formation s'élève. Au lycée, il est déjà bien tard pour juguler ces biais.

Une solution. Elle passe par une meilleure formation scientifique des professeurs des écoles. Au lycée, un rééquilibrage significatif du tronc commun en faveur des sciences, garantirait, notamment, que les professeurs des écoles soient tous mieux formés en sciences.

Conclusion

L'apparition de la spécialité NSI au lycée est une avancée majeure pour la discipline informatique, pour les emplois nombreux et porteurs (en niveau, diversité, rémunération) dans le champ du numérique. Cette spécialité, le CAPES NSI, l'agrégation d'informatique, et les classes MP2I et MPI constituent plus d'avancées institutionnelles en quelques années que n'en ont vu les décennies précédentes. Cette nouvelle donne semble répondre à l'enjeu sociétal et économique que représente le numérique. En outre, les effectifs de la spécialité vont croissant en première sur trois ans, tout comme les effectifs de la tripléte maths-PC-NSI en première et ceux de la doublette maths-NSI en terminale dans un contexte où les effectifs des spécialités maths, PC et SVT décroissent.

Cependant l'installation de cette spécialité rencontre des difficultés de trois ordres :

- la spécialité NSI est très abandonnée en terminale, est faiblement choisie au regard des autres spécialités et ne comporte que très peu de filles ;
- les élèves formés ne bénéficient que d'un tronc commun très faiblement scientifique et leur profil en terminale ne comprend, au mieux, qu'une seule autre discipline scientifique, qui n'est pas la spécialité mathématiques pour plus d'un tiers des élèves ;
- même si sa mise en place effective dans les lycées n'est pas l'objet de ce document, notons que : la moitié des lycées ne proposent pas la spécialité NSI, le nombre de postes au CAPES et à l'agrégation reste sans rapport avec

le nombre de postes nécessaires, les enseignants scientifiques ayant enseigné l'informatique depuis des décennies font face à des difficultés de carrière inédites depuis l'avènement de la spécialité NSI dans le cadre de la réforme du lycée.

La réussite effective, à long terme, nécessite donc :

- l'amélioration du processus d'orientation dès la classe de seconde, pour qu'un nombre plus important d'élèves choisissent la spécialité NSI, avec un effort particulier envers les filles. Le préalable à cette amélioration réside dans une meilleure formation des enseignants de l'école primaire et du collège à l'informatique et au numérique, et plus généralement aux sciences ;
- l'évolution de la structure du lycée, à la fois pour : élargir le profil scientifique des lycéens au sortir de la terminale et rééquilibrer le tronc commun en faveur des sciences ;
- l'implantation de la spécialité NSI dans chaque lycée ; par la définition d'un nombre de postes au CAPES NSI et à l'agrégation d'informatique en rapport avec les besoins ; par des garanties, en matière de stabilité géographique et reconnaissance institutionnelle, de la carrière des enseignants scientifiques concernés par NSI.

La progression de la spécialité NSI est donc largement tributaire de la réussite de la réforme du lycée. Pour permettre cette réussite, il convient :

- d'identifier les limitations et biais de la réforme actuelle du lycée de manière factuelle ;
- de faire évoluer la réforme dans le respect des attendus initiaux que sont une plus grande liberté de choix des élèves pour une meilleure motivation et une diversification des profils des bacheliers ;
- de définir un calendrier de réforme respectueux de l'ensemble de ses acteurs de terrain dans les lycées ;
- d'allouer des moyens humains et financiers à la hauteur des nécessaires évolutions.

L'accroissement à court terme des inégalités observées — entre genres, spécialités, abandon de spécialités, ouverture de spécialités et d'options — est consubstantiel de la grande liberté de choix des disciplines par les élèves. Si ces inégalités ne sont pas circonscrites rapidement, leur niveau deviendra tel que les avantages liés à la motivation par le libre choix et la diversification des profils passeront au second plan. Ce n'est qu'en mettant en œuvre les propositions précitées que les inégalités sociales, géographiques et de genre pourront être jugulées.



Diplômés pour le numérique et l’informatique en France : chronique d’une pénurie annoncée

Communiqué de la SIF

De la difficulté à recruter des cadres dans le numérique et l’informatique

En mars 2022, la Direction de l’animation de la recherche, des études et des statistiques (DARES, ministère du travail), dans son rapport sur les métiers à l’horizon 2030¹, indique que les futures créations d’emploi sont globalement favorables aux diplômés de l’enseignement supérieur (création de 1,8 million d’emplois entre 2019 et 2030), et que le métier en plus forte expansion sera celui d’ingénieur en informatique (+26 %, soit +115 000 postes).

Dans le même temps, les entreprises font face à des difficultés croissantes à recruter en informatique : d’après l’APEC², 67 % des entreprises estiment que les deux-tiers des embauches de cadres informatiques prévues seront difficiles à réaliser. Dans son dernier rapport d’orientation stratégique³, le CIGREF rappelle que « *la pénurie de talents dans le domaine du numérique est une tendance lourde* », et qu’elle est « *la conséquence d’un manque de formations adéquates* ». Dans ses 20

1. <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/dossier/les-metiers-en-2030>.

2. Emploi IT : L’APEC table sur des recrutements records en 2022, Le Monde informatique, 23 septembre 2022.

3. Rapport d’orientation stratégique, CIGREF, édition 2022.

propositions majeures pour 2022⁴, Numeum place en priorité numéro un « *la formation aux métiers du futur* » et une triple action, en matière de formation initiale et professionnelle et surtout de reconversion ».

Le constat est donc sans appel : la France est loin de former suffisamment de diplômés, notamment à bac+5 (masters ou ingénieurs) susceptibles d’occuper des postes de cadres en informatique, et ce déficit risque de s’inscrire dans la durée. Plus généralement, le numérique impacte de nombreux métiers. Ainsi, la Société des ingénieurs et scientifiques de France (IESF) estime, dans son rapport de 2021⁵, que 70 % des ingénieurs sont engagés comme acteurs ou utilisateurs de la transformation numérique. L’accroissement du nombre de cadres informaticiens formés est donc une nécessité socio-économique impérieuse pour que la France conserve un tissu industriel moderne et performant et qu’elle relève les défis sociétaux (climat, énergies, environnement) du XXI^e siècle.

Au lycée : une spécialité NSI prometteuse, mais bâtie sur des bases trop fragiles

La réforme du lycée général de 2019, en introduisant la spécialité Numérique et sciences informatiques (NSI), a posé les bases de formation nécessaires à cet accroissement. Mais son absence dans de trop nombreux lycées (36 % en 2022)⁶ est problématique aussi bien pour les besoins économiques à l’horizon 2030 que pour garantir une égalité territoriale des chances aux formations au numérique. La situation est aggravée par le fait que plus d’un élève sur deux abandonne la spécialité NSI entre la première et la terminale et que les filles représentent moins de 14 % des effectifs (2 215 filles en NSI en terminale en 2021 pour toute la France). En outre, ces enseignements s’appuient sur un tronc commun de formation dont la totalité des sciences représente moins de 13 %, et plus d’un tiers des élèves ayant choisi la spécialité NSI ont abandonné les mathématiques en terminale. Enfin, l’enseignement Sciences du numérique et technologie (SNT) en seconde fait l’objet d’un bilan pour le moins mitigé de la part du Conseil supérieur des programmes dans son rapport de 2022, qui parmi les solutions, propose de conférer à cet enseignement une coloration plus informatique^{7, 8}.

4. 20 actions majeures pour 2022, Numeum.

5. 32^e enquête nationale, synthèse des résultats de l’édition 2021, IESF.

6. Salon Educatech, 30 novembre – 2 décembre 2022, déclaration de Pap Ndiaye.

7. Conseil supérieur des programmes, rapport juin 2022.

8. <https://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2022/07/>

Communique_SIF_sur_SNT.pdf.

Le cas des universités et écoles d'ingénieurs publiques

Certaines universités ont su s'adapter à la diversification des profils des bacheliers, et des formations en informatique ont été revues pour intégrer l'existence de bacheliers formés avec la spécialité NSI⁹. Mais cette adaptation est inégale : dans certains établissements, elle demeure au stade d'intention. Elle s'effectue dans le contexte d'un fort accroissement des demandes de formation supérieure en informatique et d'une stagnation globale du nombre de postes d'enseignants-chercheurs en informatique. En effet, les établissements sont souvent exsangues financièrement ; ils sont donc dans l'incapacité d'ouvrir un nombre de postes en rapport avec la demande.

Sans un « plan Marshall » national de renforcement du potentiel en enseignants-chercheurs en informatique, comme il en a existé un, à juste titre, pour les filières STAPS¹⁰, l'enseignement supérieur public demeurera dans l'incapacité de répondre à la double tension du secteur du numérique : celle de la demande de formation, et celle du nombre d'emplois à pourvoir.

Le cas des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE)

Trois ans après leur création, on ne dénombre, à la rentrée prochaine, que 38 classes préparatoires MP2I (Mathématiques, physique, ingénierie et informatique, première année) et MPI (Mathématiques, physique et informatique, deuxième année). Ce nombre est faible au regard des autres classes préparatoires, avec de fortes disparités régionales¹¹. Par ailleurs, ces classes préparatoires recrutent aussi bien des élèves ayant conservé en terminale les spécialités maths et physique-chimie (PC) que ceux ayant conservé maths et NSI : cela encourage peu les élèves voulant poursuivre en CPGE à choisir la spécialité NSI. En outre, d'après des statistiques extraites de Parcoursup¹² pour 2022, 48 % des élèves de terminale ayant demandé une classe préparatoire et conservé les spécialités maths et PC ont eu au moins une réponse positive. Ce taux est de 30 % pour ceux ayant conservé les spécialités maths et SI, et chute à 14 % pour les élèves ayant choisi maths et NSI ! Le taux de réponses positives est donc inversement proportionnel à la pertinence des spécialités pour le secteur du numérique et de l'informatique.

9. <https://doi.org/10.48556/SIF.1024.20.97>.

10. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/le-mesri-mobilise-5-millions-d-euros-supplementaires-pour-recruter-80-postes-dans-la-filiere-staps-83918>.

11. Une seule pour la Bretagne ou la Normandie, par exemple, contre six pour l'île de France ou sept pour les Hauts de France.

12. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/sites/default/files/2022-10/nf-sies-2022-29-tableaux-et-graphiques-24692.xlsx>.

Dans ces nouvelles classes préparatoires, le volume d'heures dédiées à l'informatique reste inférieur au volume dédié à la physique (en moyenne, environ 6h30 hebdomadaires de physique contre 5h d'informatique en MP2I). Pourtant, le numérique évolue et se complexifie à grande vitesse, et ses fondamentaux en algorithmique et programmation nécessitent des temps significatifs d'assimilation.

Enfin, si plusieurs formations recrutant sur concours après les classes préparatoires ont rapidement proposé un concours spécifique pour les élèves venant des MPI avec un nombre de places conséquent¹³, ce n'est pas le cas de la majorité. Certaines ont même réduit récemment l'importance de l'informatique dans leur concours d'entrée. Et pour les écoles ayant ouvert des places spécifiques aux élèves de MPI, le programme de formation n'a guère évolué, pour rester compatible avec les autres classes préparatoires.

Le cas des écoles d'ingénieurs publiques post-bac

Les conditions de recrutement diffèrent selon les écoles d'ingénieurs publiques recrutant après le bac. Pour certaines, la spécialité NSI a été d'office considérée comme mineure : les spécialités recommandées en première sont maths et, au choix, PC ou SI. Pour d'autres (écoles du concours GEIPI-Polytech¹⁴), le choix est plus ouvert : les épreuves du concours dépendent des spécialités conservées en terminale.

Du point de vue du programme des années de classes préparatoires intégrées, ces écoles restent majoritairement fondées sur les spécialités maths et PC, avec une place mineure dévolue à l'informatique. C'est particulièrement étonnant pour les écoles spécifiquement orientées vers l'informatique. Dans certaines écoles, l'informatique représente moins de 8 % de la formation en termes de crédits ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*). Dans d'autres, dont toutes les spécialités sont liées à l'informatique, cette discipline représente seulement 12 % des crédits ECTS.

L'informatique comme ascenseur social

D'après une étude de la Direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance (DEPP) concernant la rentrée 2020¹⁵, la spécialité NSI pourrait pourtant clairement jouer le rôle d'ascenseur social dans les disciplines scientifiques. En effet, alors que seuls 34 % des élèves ayant conservé la doublette maths et PC en terminale sont issus de milieux sociaux moyens ou défavorisés, c'est le cas de 46,5 % des

13. L'École polytechnique proposera 20 à 25 places <https://gargantua.polytechnique.fr/siatel-web/app/linkto/mICYYShBg5S>, l'ENSIMAG 40 places <https://ensimag.grenoble-inp.fr>.

14. <https://www.geipi-polytech.org/terminale-generale-scientifique-integrez-une-ecole-dingenieurs-apres-le-bac>.

15. Note de la DEPP n°20.38, novembre 2020.

élèves ayant conservé la doublette maths et NSI. Autant pour amplifier ce rôle d'ascenseur social que pour diversifier les profils scientifiques, le passage de 64 à 75 % de la présence de la spécialité NSI dans les lycées à l'horizon 2027 ne semble pas à la hauteur des enjeux sociaux-économiques. En parallèle, les formations privées du supérieur en informatique se multiplient, mais nombre d'entre elles ne délivrent pas de diplômes reconnus, ou sont financièrement inaccessibles aux classes moyennes ou défavorisées.

Mesures à prendre

Trois leviers peuvent être actionnés pour améliorer la situation. Il est bien sûr indispensable d'*augmenter rapidement le nombre de lycées proposant la spécialité NSI* pour arriver non pas à 75 % mais à la quasi-totalité des lycées en 2027. Le trop faible nombre de places aux concours d'enseignants pour l'année 2023 (50 places au premier concours du CAPES, 22 places à l'agrégation) n'est par exemple pas du tout en accord avec les besoins constatés par tous, d'autant plus que les créations de classes préparatoires MP2I et MPI nécessitent également le recrutement de nouveaux agrégés. *Le nombre de postes aux concours du CAPES NSI et de l'agrégation informatique doit augmenter significativement afin de répondre aux besoins de formation*, comme cela a déjà été évoqué dans le communiqué de la SIF du 27 décembre 2022¹⁶.

Il s'agit aussi d'*augmenter les débouchés immédiats pour les élèves ayant suivi la spécialité NSI*, en permettant aux formations publiques du supérieur de les accueillir en nombre. Cela implique une *création significative de postes d'enseignants-chercheurs en informatique dans l'enseignement supérieur*, création subordonnée à des mesures gouvernementales politiquement et financièrement incitatives. C'est notamment nécessaire en licence, et en BUT informatique, en particulier pour répondre à l'augmentation prévisible des effectifs induite par la troisième année de BUT. Cela implique une création significative de postes en informatique, création subordonnée à des mesures gouvernementales politiquement et financièrement incitatives. Il est également indispensable de proposer des places plus nombreuses aux élèves au profil maths et NSI en CPGE, ainsi qu'un accès privilégié aux classes CPGE MP2I qui doivent être ouvertes en plus grand nombre. Enfin, le volume d'heures d'informatique doit augmenter dans les classes préparatoires (CPGE et classes préparatoires intégrées aux écoles post-bac) avec des programmes ayant pour prérequis l'enseignement de NSI.

Il est également indispensable, notamment *dans les écoles d'ingénieurs en informatique, d'augmenter les places accessibles aux élèves venant de CPGE MPI*. Au-delà, l'accès aux écoles d'ingénieurs généralistes doit s'ouvrir plus largement

16. <https://www.societe-informatique-de-france.fr/wp-content/uploads/2022/12/2022-12-27-communique-places-aux-concours.pdf>.

aux élèves ayant suivi la spécialité NSI, surtout lorsqu'elle est associée à une autre spécialité scientifique.

Une prise de conscience nationale des enjeux de l'emploi du numérique doit donc se décliner en termes concrets du lycée aux classes préparatoires et à l'enseignement supérieur. Sans des mesures concrètes et chiffrées, les alertes répétées du monde socio-économique du numérique et du monde académique resteront lettre morte et les chances de relever à court terme les défis sociétaux correspondants seront réduits à néant.



Journée autour du doctorat

Lou Grimal, Nicolas Courilleau, Nicolas Passat

Introduction à la journée

La Société informatique de France, en collaboration avec SPECIF Campus, a organisé, le 13 décembre 2022, la journée autour du doctorat avec pour thématique : « Que faire avec un doctorat en informatique ? Valorisation des compétences acquises pendant le doctorat pour une multiplicité de carrières »¹.

Cette journée, troisième édition du genre après celles de 2018 et 2020², a permis à des doctorants et étudiants de mieux comprendre l'écosystème autour du doctorat en informatique en France. La journée a réuni des orateurs issus du monde académique, industriel et associatif et a permis d'illustrer la variété des carrières possibles après la réalisation d'un doctorat en informatique.

L'une des originalités de cet événement est le format hybride proposé, permettant à tout doctorant en France et à l'étranger de participer. Ainsi, 40 sites locaux se sont formés pour accueillir, sur place, des doctorants et étudiants. Les intervenants avaient l'opportunité de se rendre sur l'un de ces sites pour mener leur présentation devant l'ensemble des participants mais également dialoguer de manière plus informelle avec les étudiants sur place. Les interventions ont été enregistrées et la plupart d'entre elles seront accessibles sur le site internet de la SIF dans les prochaines semaines. 60 % des participants ont assisté à la journée depuis un site local, 40 % en ligne.

Comment avons-nous construit le programme de cette journée ? Étant donné que 60 % des chercheurs en informatique réalisent leur carrière dans une entreprise, nous

1. <https://www.societe-informatique-de-france.fr/les-journees-sif/journee-autour-du-doctorat-2022>.

2. <https://doi.org/10.48556/SIF.1024.13.9>, <https://doi.org/10.48556/SIF.1024.17.5>.

avons choisi de dédier au moins la moitié des interventions au secteur industriel et entrepreneurial. Nous avons également choisi de mixer les présentations ; certaines plus institutionnelles, tandis que d'autres étaient des témoignages de parcours professionnels.

La journée était composée de quatre sessions dont voici les thématiques principales :

- session 1 : valorisation du doctorat : quelles compétences ? ;
- session 2 : carrières académiques ;
- session 3 : carrières dans l'industrie ;
- session 4 : carrières à l'international.

Cet article permet de revenir sur les messages forts des quatorze orateurs de cette journée.

Valorisation du doctorat : quelles compétences ?

La première session s'est focalisée sur les compétences acquises lors d'un processus de préparation de doctorat. La première intervention était centrée sur les compétences acquises pendant le doctorat tandis que la deuxième intervention était un zoom sur les doctorants en entreprise sous convention Cifre.

La première intervenante était Sandra Giron, responsable formation et accompagnement à l'Association Bernard Gregory³. Cette association a pour objectif de rapprocher le monde de la recherche de celui des entreprises. Elle propose 4 300 offres de thèse et emplois diffusés (de quoi être très utile pour les étudiants en deuxième année de master qui souhaitent postuler à une offre de thèse). Sandra Giron a partagé des conseils sur la construction d'un projet professionnel post-thèse, avec notamment un équilibre entre trois éléments clés : (1) les compétences et qualités, (2) les envies, motivations et valeurs, (3) les opportunités et le marché de l'emploi. Également, un focus a été réalisé sur le dispositif DocPro⁴, permettant aux doctorants d'identifier les compétences acquises au cours de leur thèse. Les compétences sont structurées en quatre thématiques : cœur de métier, qualités personnelles et relationnelles, gestion de l'activité et création de valeur, stratégie et *leadership*.

La deuxième intervenante était Valérie Sibille, chargée de mission au service Cifre de l'Agence nationale de la recherche et de la technologie (ANRT). Elle a présenté le dispositif Convention industrielle de formation par la recherche (Cifre), permettant de « placer les doctorants dans des bonnes conditions de recherche scientifique et d'emploi multiculturelles ». Ce dispositif, mis en place il y a près de 40 ans, constitue un contrat de collaboration entre une structure socio-économique et un laboratoire académique. Le doctorant ou la doctorante bénéficie d'un contrat de travail avec la structure socio-économique et d'une formation doctorale via le laboratoire. Ce

3. www.abg.asso.fr.

4. <https://www.mydocpro.org/fr>.

dispositif gagnant-gagnant permet à un tiers des doctorants bénéficiaires de rester dans leur entreprise partenaire Cifre après l'obtention de leur doctorat.

Carrières académiques

Cette deuxième session était composée de deux parties. La première partie s'est focalisée sur les démarches à suivre afin de poursuivre une carrière académique. Pour cela, des personnalités impliquées dans la section 27 du CNU, la section 06 du CoNRS et la commission d'évaluation Inria nous ont parlé des procédures spécifiques à leurs institutions respectives. La deuxième partie était centrée sur l'enseignement, notamment la nouvelle agrégation d'informatique.

Lionel Seinturier est professeur des universités à Lille et président de la section 27 du CNU depuis décembre 2019. Il est venu nous présenter cette institution nationale. Il nous a parlé de la carrière d'enseignant-chercheur, plus spécifiquement de ce que recouvre ce métier et comment candidater à un poste de maître de conférences. « *Vous aurez deux métiers qui n'en font qu'un* », c'est-à-dire des fonctions d'enseignement et des fonctions de recherche. Cette diversité est une réelle richesse ! Un autre élément caractéristique de ce métier : le travail en équipe. Un enseignant-chercheur doit être capable de travailler collaborativement (en recherche et en enseignement), d'encadrer des jeunes chercheurs, de participer à la vie de sa discipline, de sa communauté, au niveau national et international, d'établir des collaborations avec toutes les parties prenantes de la recherche, du monde industriel et de la société civile, d'enseigner.

S'en sont suivies deux présentations liées à des Établissements publics à caractère scientifique et technologique (EPST) : le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria).

Pascal Weil, directeur de recherche CNRS sur les modèles de calcul, a participé à de nombreuses commissions nationales (CoNRS, CNU) et dirige actuellement une unité mixte internationale (UMI) franco-indienne. Il a d'ailleurs insisté sur l'importance des voyages professionnels de moyenne ou longue durée dans sa carrière. Pascal Weil a présenté le CNRS, notamment les procédures de recrutement et la manière de constituer un dossier pour postuler. Les deux sections présentées sont les sections 06 (Sciences de l'information : fondements de l'informatique, calculs, algorithmes, représentations, exploitations) et 07 (Sciences de l'information : signaux, images, langues, automatique, robotique, interactions, systèmes intégrés matériel-logiciel).

Pour conclure cette première partie, Anne Canteaut a détaillé le processus de candidature à l'Inria. Elle est spécialiste en cryptographie et préside la Commission d'évaluation de Inria. Cette commission a pour mission de coordonner l'évaluation des équipes-projets Inria. Inria est une institution composée de neuf centres de recherche et de plus de 200 équipes de recherche. Chaque centre de recherche possède

son propre concours. Deux types de postes sont proposés : les postes de type Chargé de recherche de classe normale (CRCN) et les *Inria Starting Faculty Position* (ISFP). Le déroulement des concours, ainsi que des recommandations aux jeunes chercheurs ont été présentés.

La deuxième partie de cette session était centrée sur les aspects en lien avec l'éducation. Nous avons pu parler des concours CAPES et agrégation d'informatique.

Isabelle Guérin Lassous est professeur des universités à Lyon sur les performances des réseaux sans fil. Elle est présidente du CAPES s'intitulant Numérique et sciences informatiques (dit CAPES NSI). Ce concours est récent puisqu'il a été créé en 2019 dans le cadre de la réforme du lycée. Cette réforme a permis la création de nouvelles matières, notamment en lien avec l'informatique : (1) Sciences numériques et technologie (pour toutes les classes de seconde) et (2) Numérique et sciences informatiques (option terminale). Il y a donc un besoin d'enseignants pour ces nouvelles thématiques pédagogiques. Elle a présenté le fonctionnement du CAPES NSI, les modalités pour le passer et les débouchés possibles. Toutes les informations sur le concours peuvent être retrouvées sur le site <https://capes-nsi.org/> (actualités, descriptions des épreuves, recommandations, sujets des années précédentes, rapports de jury, manuels scolaires disponibles lors de la préparation des concours, etc.). En bref, la création de ce CAPES est une réelle avancée car il permet de former nos lycéens aux outils informatiques et aux enjeux numériques. L'enseignant SNT/NSI est le premier « *maillon fort dans l'enseignement de l'informatique* ».

Cette présentation a été suivie par celle de Sylvie Boldo, chargée de recherche Inria et présidente de l'agrégation externe d'informatique. Grâce à l'arrêté MENH2112666A du 17 mai 2021⁵, l'agrégation externe d'informatique est clairement définie. Ce concours est composé de trois épreuves écrites d'admissibilité (composition d'informatique, étude d'un problème informatique et épreuve spécifique). Pour les admissibles, il est possible d'accéder aux épreuves d'admission composées de trois épreuves orales (leçon d'informatique, travaux pratiques de programmation et modélisation). Les informations concernant l'agrégation d'informatique sont disponibles sur le site internet⁶. Pour donner un ordre d'idée, 549 personnes se sont inscrites, 251 se sont effectivement présentées aux épreuves, 55 ont été admissibles et *in fine* 23 ont été admises (20 agrégés et 3 sur liste complémentaire (LC)). Un rapport sur la session 2022 a été produit et il est important que les futurs candidats prennent le temps de le lire.

Solène Mirliaz, première ex-æquo à l'agrégation d'informatique en 2022, a témoigné de son expérience de l'agrégation. Elle a suivi une formation à l'ENS Rennes en quatre années pour ensuite commencer une thèse à Rennes (en cours). Au bout de deux ans de thèse, en plein contexte COVID, elle a douté de son envie de continuer en recherche. Elle a parlé du fameux syndrome de l'imposteur que la plupart des

5. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043648279>.

6. <https://agreg-info.org>.

doctorants connaissent bien ! Elle avait envie d'ouvrir son domaine de compétences (sur un sujet de thèse plutôt centré sur un domaine spécifique). En fin de deuxième année, son directeur lui a parlé de la création de l'agrégation en informatique et lui a indiqué qu'elle pouvait suivre une formation à Rennes pour l'aider à la préparer. Elle s'est aussitôt inscrite et a réussi les épreuves haut la main ! Le fait d'avoir une préparation pour l'ENS a été une véritable aide grâce à la collaboration des différentes personnes intervenant dans la formation, et le côté interdisciplinaire. Elle a accepté un poste en CPGE au lycée Thiers à Marseille (face à des étudiants en 2^e année de CPGE), et achève sa thèse en parallèle. Elle témoigne de son expérience au sein d'une équipe pédagogique soudée. Finalement, passer l'agrégation a permis à Solène de se ré-orienter vers un métier qui lui plaît. Elle conseille néanmoins aux étudiants de passer l'agrégation avant la thèse.

Carrières dans l'industrie

Cette section était dédiée aux parcours professionnels dans l'industrie.

Sophie Pellat-Velluire a travaillé pendant 15 ans dans l'environnement Inria pour faire émerger des startups issues des travaux des chercheurs. Elle a, par exemple, participé à la création d'un fond d'investissement (avec un dispositif startup studio intégré) ayant pour objectif de financer des projets qui démarrent. C'est grâce à ce parcours qu'elle est actuellement co-directrice d'*Inria Startup Studio*, un dispositif créé en 2019 qui favorise la naissance de startups autour de connaissances scientifiques produites lors des thèses. Les doctorants bénéficiant de ce dispositif disposent d'un an pour préparer le lancement de leur startup. Cela a pour objectif de favoriser le transfert de connaissances vers l'industrie et la société civile. Construire son entreprise est un chemin de carrière pour les docteurs qu'il ne faut pas négliger !

Afin d'illustrer les propos de Sophie Pellat-Velluire, nous avons accueilli Adriana Gogonel, PDG et fondatrice de Statinf. Adriana Gogonel a réalisé une thèse en informatique, avant de se lancer dans une carrière entrepreneuriale dans le domaine des systèmes embarqués. Elle a bénéficié du dispositif *Inria Startup Studio*. Adriana a présenté son parcours qui a débuté en Roumanie, son pays natal, où elle a suivi des études de mathématiques. Elle a mis en pause ses études quelques années afin de réaliser un parcours sportif professionnel, et devenir championne de Roumanie de karaté. Elle a participé aux championnats d'Europe et championnats du monde. Après trois années, elle a finalement repris ses études, en France, et sur les conseils de sa sœur, elle a choisi des études en informatique pour rejoindre le monde du travail au plus vite. Après un stage en R&D à EDF, elle se lance dans une thèse Cifre de doctorat. Elle a ensuite réalisé un post-doc et a souhaité transférer les connaissances à une entreprise existante par le biais de brevets. Néanmoins, aucune entreprise n'existait dans ce domaine ! C'est la raison pour laquelle elle a choisi de créer une société pour transférer sa technologie. C'est ainsi que Statinf est née. Statinf est une société qui

réunit des personnes issues du monde de l'informatique et des statistiques. Elle propose une solution logicielle d'analyse du comportement temporel de l'électronique dans les systèmes embarqués.

La présentation suivante est celle de Damien Deville. Damien a suivi une formation d'ingénieur à Polytech Lille. Il s'est ensuite dirigé vers un DEA en informatique à l'université Lille 1. Ce passage de l'école d'ingénieur au DEA était un premier pont entre le monde des industries et de la recherche. Damien est docteur en informatique de l'université des sciences et technologies de Lille. Il a présenté son parcours professionnel, débutant par sa thèse dans la sécurité des systèmes d'exploitation embarqués dans les cartes à microprocesseur. Cette thèse était liée à l'industrie car financée par une bourse de doctorat pour l'ingénieur (BDI). Ce type de bourse est disponible pour les candidats en thèse disposant d'un diplôme d'ingénieur (financement tripartite de la thèse : région, CNRS et entreprise). Après sa thèse, il a pu bénéficier d'une bourse Fulbright⁷, afin de réaliser un post-doc à l'université de Washington sur la côte ouest des États-Unis. Après ce post-doc, il s'est tourné vers l'industrie. Il est depuis plus de 15 ans dans la société Stormshield où il travaille sur les questions liées à la cybersécurité.

Carrières à l'international

Cette quatrième et dernière session était centrée sur les parcours de docteurs ayant choisi une carrière internationale.

Alexandre Courbot est docteur de l'université Lille 1. Il a soutenu en 2006⁸ et vit à Tokyo depuis 2007. C'est grâce aux conférences qu'il a réalisées à l'international qu'il a pu rencontrer des chercheurs de l'université de Waseda et y obtenir un post-doc en avril 2007. Pendant quatre années, il a beaucoup travaillé en relation avec les doctorants locaux pour les aider à écrire des papiers pour les conférences internationales et développer sa propre recherche. Après son post-doc, il a finalement décidé de rejoindre l'industrie. Mais comment rentrer dans l'industrie quand on a une carrière totalement académique ? En 2010, par hasard, il a rencontré un *hacker* noyau Linux. Ce dernier l'a encouragé à soumettre ses premiers patch « pour le fun ». Après quelques mois, il a pu ajouter des compétences sur son profil LinkedIn et il a rapidement été contacté par un recruteur NVidia cherchant des profils maîtrisant les aspects techniques noyau Linux, l'anglais et le japonais. Et Alexandre avait le profil ! Par la suite, il a rejoint Google (pour travailler sur ChromeOS). Son principal message était donc : « *Doctorants, allez en conférence, rencontrez des gens, c'est là que vous rencontrez les personnes qui vous permettront de réaliser vos projets !* »

7. <https://fulbright-france.org/fr/bourses/chercheurs>.

8. Et petite anecdote, Alexandre a fait sa thèse dans le même bureau que Damien Derville, qui a présenté juste avant lui !

Grâce à une présentation pleine d'humour, Alexandre a pu partager son expérience professionnelle et ses anecdotes en tant qu'expatrié au Japon.

Que Nguyen, actuellement Senior Research Fellow à l'université de technologie de Dublin, a ensuite parlé de son expérience en tant qu'étrangère ayant réalisé son doctorat en France. Que Nguyen est vietnamienne. Elle est arrivée en France en 2006 pour réaliser un bachelors en électronique, ingénierie électrique et systèmes automatisés, puis un master en ingénierie du traitement des données multimédia. À la fin de son master, elle souhaite devenir ingénieure de recherche et développement. Ses encadrantes lui suggèrent l'idée de faire une thèse. Cependant, son titre de séjour allait bientôt expirer, il fallait qu'elle se dépêche de trouver une thèse ! Elle a eu la chance d'avoir un poste d'ingénieur à La Roche-sur-Yon afin de faire du contrôle qualité des images médicales dans les hôpitaux. Grâce à ce poste, elle a pu rester en France et commencer une thèse en biophysique, qu'elle a soutenue en 2016. Le plus dur dans sa thèse était de voir le nombre d'erreurs qu'elle faisait lors de la production de ses premières versions de papiers scientifiques ou de présentations scientifiques. Elle incite les doctorants à ne pas avoir peur de faire ces erreurs en début de parcours ! Après son doctorat, Que Nguyen a réalisé un post-doc grâce au dispositif Marie Skłodowska Curie COFUND. Son message principal était : « *Apprenez de vos erreurs et n'ayez pas peur de l'échec* ».

Tégawendé Bissyandé a clôturé cette journée par une présentation intitulée « itinéraire académique ». Il est enseignant-chercheur au *Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust* à l'université du Luxembourg. Il nous a partagé ses réflexions sur ce que l'on peut faire avec une thèse. Tégawendé Bissyandé est originaire du Burkina Faso. Il a ensuite réalisé une classe préparatoire au Maroc, puis s'est retrouvé à Bordeaux pour intégrer l'Institut polytechnique de Bordeaux (IPB). À la fin de son parcours d'ingénieur, il avait l'aspiration d'aller plus loin dans l'apprentissage des systèmes d'ingénierie. C'est la raison pour laquelle il a commencé une thèse. Pendant son doctorat, il a pu réaliser des séjours de plusieurs mois aux États-Unis et à Singapour dans des laboratoires de recherche. Cela lui a permis d'avoir un profil profondément international. Il a rejoint les précédents orateurs sur leurs conseils : « *la participation aux conférences et le fait de parler aux personnes que l'on ne connaît pas. Ne soyez pas timides.* » Il a eu la chance d'avoir un post-doc, puis un poste permanent au Luxembourg. Il a également réussi à obtenir une bourse ERC en 2021. Son poste actuel est presque entièrement dédié à la recherche (30 heures / an de cours uniquement). Cette faible charge d'enseignement lui permet de voyager le reste de l'année (peu de contraintes horaires pour les cours). Il a parlé de ses trois activités majeures : l'enseignement, la recherche et le *consulting*.

Synthèse de la journée

Par cette journée, nous espérons que les étudiants et les doctorants ont pu avoir

un bon aperçu des différents débouchés possibles après un doctorat, que ce soit au niveau de la recherche, de l'enseignement ou dans le secteur industriel et entrepreneurial. Le diplôme de docteur peut être compris comme un atout car il confère des compétences précieuses et transversales à de nombreux contextes professionnels.

D'après une enquête menée en sortie de la journée, il apparaît que celle-ci a satisfait plus de 90 % de l'audience. Elle a permis à 300 participants d'en apprendre plus sur l'écosystème du doctorat en France.

La prochaine édition aura lieu en décembre 2024.

Beaucoup d'acronymes ont été utilisés lors de cette journée. Saurez-vous reconnaître l'intrus dans cette liste ?

DR ANRT LC SNT CRCN
 INRIA ABG LIAFA MPSI
 IRL CoNRS ITA ISFP CNRS
 EPST CNU MCF PU ENS MP
 UMR CR CIFRE CAPES CPGE
 GdR ESTAC BIATSS MPI EC
 INS2I NSI



CNU : mode d'emploi

Christel Dartigues-Pallez, Morgan Magnin, Jean-Michel Bruel, Élise Bonzon, Nicolas Passat, Florence Sèdes, Lionel Seinturier¹

Le CNU est un organe essentiel dans le déroulé de nos carrières d'enseignants-chercheurs (EC). Face aux changements intervenus au cours de ces dernières années, il devenait important que SPECIF Campus réalise un descriptif exhaustif du périmètre d'action du CNU. Dans ce contexte, le 6 février 2023 a eu lieu une conférence où des membres élus SPECIF Campus et des membres nommés ont présenté les aspects du travail de la section 27 au cours de cette mandature. Les interventions de cette journée sont enregistrées et sont accessibles sur le site web de l'association².

Le CNU est une instance nationale consultative et décisionnaire qui est régie par le décret du 16 janvier 1992. Plusieurs décrets sont ensuite venus modifier son périmètre. Le CNU se prononce sur les mesures relatives à la carrière des enseignants-chercheurs des établissements dépendant du MESR. Le CNU est une instance nationale organisée en 57 sections reflétant les disciplines scientifiques. L'effectif important relevant du CNU 27 (Informatique) — 3359 enseignants-chercheurs en 2021 — en fait la plus grosse section du CNU³.

Composition du CNU 27

Deux tiers des membres du CNU sont élus, et un tiers sont nommés. Le CNU 27 est composé de 96 membres (rangs A et B). La mandature actuelle passera la main

1. Membres de SPECIF Campus.

2. <https://www.specifcampus.fr>.

3. <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/fiches-demographiques-des-sections-de-sciences-annee-2021-87629>.

pour les quatre prochaines années lors des élections qui auront lieu au dernier trimestre 2023.

Chaque section élit un bureau composé de 3 membres de rang A (le président de la section CNU, un vice-président (VP) et un assesseur) et 3 membres de rang B (un VP et deux assesseurs). Ce bureau participe, avec les bureaux des 52 sections existantes, à la Commission permanente du CNU (CP-CNU), qui représente l'ensemble des sections du CNU auprès du MESR, de France Universités, du CoNRS, du HCÉRES, etc. au cours des deux assemblées générales annuelles et de groupes de travail. Les missions du CNU ont évolué au cours du temps et concernent actuellement :

- la qualification aux fonctions de MCF ;
- la qualification aux fonctions de PR ;
- l'attribution du contingent national des congés pour recherches ou conversions thématiques (CRCT) ;
- l'attribution du contingent national des avancements de grade (ou promotions) ;
- le suivi de carrière des enseignants-chercheurs ;
- l'avis sur les demandes de prime individuelle (ou RIPEC C3) ;
- l'avis sur les demandes de promotion interne (ou repyramidage).

Le CNU est décisionnaire pour les missions historiques telles que la qualification et les contingents nationaux de CRCT et de promotions. Il émet un avis consultatif, qui peut être utilisé par les établissements, pour la décision finale en matière de PEDR, RIPEC et promotion interne (repyramidage).

Le travail au sein du CNU 27 se situe :

- en amont des sessions, avec la rédaction de notes à destination des candidats, des visioconférences de préparation des sessions et une phase importante d'analyse des dossiers ;
- pendant les sessions, avec la présentation des dossiers et les délibérations ;
- en aval des sessions, avec la rédaction des comptes rendus et la rédaction du rapport d'activité annuel de la section.

Les membres du CNU 27 sont limités à deux mandats consécutifs en tant que titulaires. De plus, ils suivent une charte de déontologie qui assure un traitement équitable des dossiers :

- on ne siège pas si on est soi-même candidat ou si un parent candidate ;
- on ne rapporte pas en cas de conflit d'intérêt :
 - même laboratoire / établissement / ville ;
 - co-auteur ou co-encadrant ;
 - participation à des projets en commun ;
 - lien scientifique (directeur ou encadrant de thèse, garant de HDR) ;
 - en cas de resoumission d'un dossier, les rapporteurs changent.

Le CNU 27 en quelques chiffres :

- 2379 dossiers examinés en 2022, soit 40,4 % des enseignants-chercheurs ;

- 640 dossiers de demande de qualification ;
- 1739 dossiers CRCT / promotion / suivi de carrière / RIPEC / repyramidage qui correspondent à 1357 EC différents répartis de cette façon :
 - 1008 EC ont déposé 1 dossier ;
 - 317 EC ont déposé 2 dossiers ;
 - 31 EC ont déposé 3 dossiers ;
 - 1 E/C a déposé 4 dossiers.

Le tableau ci-dessous montre l'évolution du nombre de dossiers au cours des trois dernières années :

	2020	2021	2022
Qualification	884	785	640
CRCT	71	58	51
Promotion	577	553	553
Suivi de Carrière	75	47	78
PEDR	471	483	
RIPEC			794
Repyramidage			263
Total	2078	1926	2379
		-7%	24%

Les sessions non-contingentes

Qualification MCF et PR

La qualification est un passage obligé avant toute candidature à un poste de maître de conférences (MCF) ou de professeur des universités (PR). La suppression de cette nécessité de qualification pour les maîtres de conférences titulaires du MESR demeure nécessaire pour les personnels sous un autre statut (EC relevant d'autres ministères que le MESR, chargé de recherche, contractuel, personnel travaillant en entreprise, etc.) pour candidater à un poste de professeur des universités.

La section du CNU donne un avis sur la demande de qualification déposée qui est accordée ou non. Elle reste valable quatre années à compter du 31 décembre de l'année de l'inscription sur la liste de qualification pour les MCF. Elle est valable définitivement pour les PR à partir de cette année. Elle permet de postuler sur un poste rattaché à n'importe quelle section CNU et garantit les minima de compétence sur ces postes en termes de formation, d'enseignement, de recherche, etc. La qualification peut être demandée au titre de plusieurs sections CNU (avec des critères distincts), avec des chevauchements de périodes entre les sections et sans limite de nombre de demandes en cas d'échec. En 2022, le CNU 27 a reçu environ 600 candidatures MCF (50 PR). Sur ces candidatures, environ 500 dossiers de MCF (30 PR) ont été examinés et sur ces dossiers 60 % de MCF (70 % de PR) ont été qualifiés.

Pour les dossiers qui étaient recevables, nous pouvons trouver parmi les causes de non qualification :

- hors section pour un quart des dossiers ;
- pour les trois autres quarts :
 - 60 % pour des motifs liés à la recherche ;
 - 30 % pour des motifs liés à l'enseignement ;
 - 10 % pour des motifs liés à la recherche et à l'enseignement ;
 - parfois par défaut d'information suffisante dans les dossiers.

Les dossiers qui sont étudiés doivent faire apparaître :

- un curriculum vitae (i.e. un rapport d'activité) de 5 à 15 pages présentant les activités en matière d'enseignement, de recherche, d'administration et d'autres responsabilités collectives ;
- une pièce justificative de diplôme (doctorat ou HDR) ;
- le rapport de soutenance ;
- les rapports sur le manuscrit ;
- un exemplaire des travaux, ouvrages et articles (nombre limité !) ;
- des justificatifs d'enseignement (optionnel, très fortement recommandé) ;
- des lettres de recommandation (optionnel).

Une fois les dossiers de candidature réceptionnés, une vérification préalable est effectuée par le MESR pour statuer sur la conformité administrative des pièces obligatoires. Ce point est hors de la portée des sections du CNU. Les dossiers recevables sont ensuite transmis à la section. Le processus d'évaluation est alors mis en place par le CNU 27 : expertise par deux rapporteurs membres de la session, présentation du dossier par les rapporteurs lors de la session dédiée à la qualification, discussion et évaluation collégiales par les membres siégeant et enfin notification de qualification ou de non qualification avec argumentaire. Pour le bon traitement des dossiers, une démarche éthique est mise en œuvre. En premier lieu, deux rapporteurs sont désignés pour chaque dossier : un expert du domaine et un non-expert. Il ne peut y avoir de lien quelconque entre le candidat et les rapporteurs. Les rapporteurs ne communiquent pas entre eux ni avec le candidat. En cas de candidatures réitérées plusieurs années de suite, les rapporteurs changent, et il n'y a pas de traitement géographique des dossiers ni d'effet mémoire. Enfin, les rapporteurs ne sont pas décisionnaires : ils fournissent un avis argumenté qui sert aux discussions lors de la session. Lors d'une session, 50 % du CNU 27 siègent pendant 4 à 5 jours pour traiter l'ensemble des dossiers reçus. Chacun de ces dossiers est rapporté individuellement. Les deux rapporteurs présentent le dossier : un premier rapport complet est produit par le rapporteur expert du domaine et un rapport complémentaire et éventuellement contradictoire est produit par le second. Le jugement est ensuite collégial, par consensus ou plus marginalement par vote.

RIPEC C3

Lors de la campagne de 2022 pour la RIPEC C3, 794 personnes ont déposé un dossier : 592 MCF, dont 28 % de femmes (26 % de la section) et 202 PR, dont 16 % de femmes (19 % de la section). Ces taux sont équivalents à ceux de la campagne 2021 pour l'ancienne prime d'encadrement doctoral et de recherche (PEDR).

Pour la session 2022, l'évaluation porte sur les quatre dernières années (du 01/01/2018 au 31/12/2021). Sur cette fenêtre temporelle, les personnels qui ont eu un congé (maternité, paternité, parental, longue maladie, etc.) ou un temps partiel sont encouragés à étendre d'eux-mêmes la période dans leur rapport d'activité. Pour un congé maternité, il est admis que l'extension porte au-delà de la durée du congé lui-même et puisse aller jusqu'à 18 mois. Pour les autres cas, l'extension peut aller jusqu'à concurrence de la durée pour un arrêt, ou au prorata de la durée pour un temps partiel.

Les dossiers exposant une activité que l'on peut considérer comme normale (volume statutaire d'interventions et contributions scientifiques) recueillent un avis favorable de la section. L'avis très favorable est attribué aux dossiers qui ont fait remonter des responsabilités importantes, un investissement ayant eu une portée reconnue significativement dans la communauté ou des contributions, une production en recherche ou en pédagogie qui ont eu un impact important.

Les tâches collectives qui sont prises en compte sont les fonctions qui comportent une part significative de gestion, comme la responsabilité d'un département, qui implique la gestion des personnels BIATSS ou du budget. Les activités pédagogiques ou scientifiques avec une forte part administrative sont aussi prises en compte pour les tâches collectives. La section 27 considère que les heures complémentaires, même lorsque celles-ci sont en nombre très élevé, ne sont pas un critère suffisant pour émettre un avis très favorable.

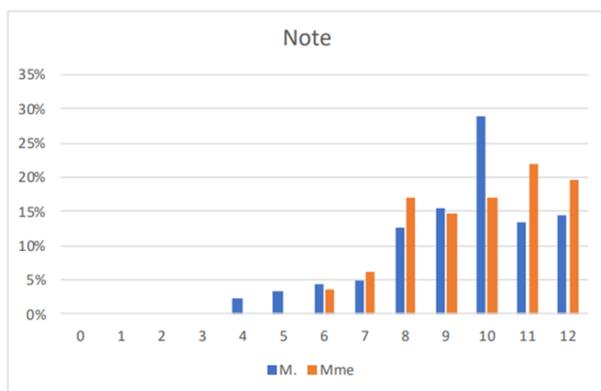
Voici un tableau récapitulatif de l'avis rendu par le CNU sur les dossiers pour la campagne de 2022 :

	Activité pédagogique			Activité scientifique			Responsabilités collectives et tâches d'intérêt général		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
MCF	397	192	3	299	213	80	175	128	289
PR	105	91	6	113	84	5	108	61	33

Il est à noter que la procédure d'attribution de la prime individuelle évolue à compter de la campagne 2023. Désormais, les instances de consultation (Cac restreint et sections du CNU) rendront chacune un avis unique pour l'ensemble du dossier du candidat, et préciseront au titre de quelle(s) mission(s) au sens de l'article L. 123-3 du code de l'éducation le bénéfice de la prime est proposé. L'avis du CNU sera rendu préalablement à celui du conseil académique.

Promotion interne - Repyramidage

Dans le cadre de la promotion interne (repyramidage), l'évaluation se fait par rapport à deux volets, acquis de l'expérience et aptitude professionnelle, et plus précisément l'investissement pédagogique, l'activité scientifique, et les responsabilités collectives et d'intérêt général. Les avis rendus sont : avis très favorable (A), favorable (B) ou réservé (C). Un commentaire est également produit : il indique les statistiques sur les avis rendus et une ou des phrases explicitant et soulignant les points majeurs de l'avis validé par toute la section. Un avis A est converti en deux points, un B en un point, un C en zéro. La note finale de chaque évaluation prend en compte les 6 avis, et donne ainsi une note comprise entre 0 et 12. Le graphique suivant donne les pourcentages de dossiers par note et par genre :



Répartition des pourcentages de dossiers par note

Lorsque la section examine les dossiers, elle ignore le nombre de supports ouverts par les établissements. L'avis des établissements ne fait pas partie du processus de décision de la section ; il est indépendant. Tous les dossiers d'un même établissement ou site (hors Paris) sont examinés à la suite, ce qui permet de faciliter la prise en compte relative d'un même contexte local. Dans le cas de sites avec plusieurs établissements, il n'y a pas d'interclassement des dossiers des différents établissements : tous les dossiers d'un même établissement sont examinés à la suite.

L'ensemble de la carrière depuis le recrutement est considéré, de même que la dynamique du dossier sur les années récentes. Le tableau suivant synthétise les avis rendus par la section 27 pour tous les critères pris en compte.

	Investissement pédagogique			Activité scientifique			Responsabilités collectives et d'intérêt général		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Acquis de l'expérience	227	35	1	214	48	1	126	115	22
Aptitude professionnelle	177	85	1	167	90	6	78	141	44

Pour mettre toutes les chances de leur côté, les candidats doivent respecter la trame fournie pour le rapport d'activité. Il faut indiquer tous les faits importants dans l'ensemble de la carrière, depuis le recrutement et donc l'accès au corps MCF. Il faut bien présenter les responsabilités dans les bonnes catégories, même s'il est vrai qu'elles sont parfois de natures multiples (pédagogiques, collectives, scientifiques). Pour cela, il faut se référer à la répartition proposée par la trame : direction, animation, montage de formations, responsabilités d'UE, parcours, formation pédagogique, direction de composante... Une part prépondérante d'activités de gestion (budget, recrutements, encadrement...) relève des responsabilités collectives (par exemple, responsable de département).

Une responsabilité partagée doit être associée à une répartition, en indiquant un pourcentage, les dates de début et de fin...

Des dossiers trop succincts sur la description de tâches collectives (liste d'items, une ligne) sont insuffisants pour informer la section de toutes les informations pertinentes permettant d'appréhender la carrière.

Le bilan pour la campagne de 2022 est le suivant :

- 271 candidatures : 263 candidatures ont été examinées, 8 ayant été lauréates d'un concours de professeur des universités ;
- 52 établissements, 31 % femmes, 69 % hommes ;
- 121 « méritent de donner lieu à audition », 36 % femmes, 64 % hommes ;
- Sur les 263 candidatures examinées : 69 promues au repyramidage, dont 31 au titre de 2021 et 38 au titre de 2022 :
 - parmi les 69, 23 femmes (33 %) et 46 hommes (67 %) ;
 - parmi les 69, 59 ont obtenu « mérite de donner lieu à audition » ;
 - ces 59 candidatures émanent de 44 établissements.

Les sessions contingentées

Avancement de grade

La liste des promouvables de l'année se base sur la situation future des personnels au 31 décembre de l'année courante. Pour les MCF, le passage de la classe normale (CN) vers la hors classe (HC) est possible à partir du septième échelon de la classe normale et 5 ans d'ancienneté, et le passage à l'échelon exceptionnel de la hors classe est possible après 3 ans dans le sixième échelon de la HC. Pour les PR, il n'y a pas d'ancienneté requise pour le passage à la première classe, il faut 18 mois dans la première classe pour demander à passer classe exceptionnelle 1 (CE1), et le passage à la classe exceptionnelle 2 (CE2) peut être demandé après 18 mois dans la CE1.

Le nombre de promotions à une année N est calculé à partir du nombre de personnes qui peuvent être promues et qui remplissent les conditions d'ancienneté au 31 décembre de l'année précédente. À l'échelle nationale, la moitié des supports de

promotions attribuables est gérée par le CNU (la section 27 pourvoyant l'intégralité de ces supports); l'autre moitié est gérée par les établissements (à qui il arrive de ne pas pourvoir l'intégralité de ces supports). Une fois ce nombre calculé, 20 % sont réservés pour les MCF de la CN qui peuvent passer HC. Le nombre de MCF qui peuvent passer de la HC à l'échelon exceptionnel est calculé avec l'objectif d'avoir 10 % des MCF dans ce grade en 2023.

Pour les PR, le passage de la classe 2 à la classe 1 concerne 15 % des personnes qui peuvent être promues, celui de la classe 1 vers la CE1 15 % des personnes qui peuvent être promues, et enfin celui de la CE1 vers la CE2 21 % des personnes qui peuvent être promues.

Quelques chiffres pour les trois dernières années pour les différentes promotions demandées (extraits des comptes rendus de sessions disponibles sur le site⁴ du CNU 27) :

	2020			2021			2022		
	NbCand	CNU27	Etab.	NbCand	CNU27	Etab.	NbCand	CNU27	Etab.
MCF HC	242	50	51	251	59	63	238	73	N/A
MCF EX	68	23	26	48	17	4	61	24	N/A
PR1C	100	19	22	90	17	17	82	17	N/A
PREX1	104	23	21	96	22	19	89	20	N/A
PREX2	63	16	10	68	17	14	83	17	N/A
Total	577	131	130	553	132	117	553	151	N/A

Taux de réussite hommes / femmes pour les deux dernières années :

	2021		2022	
	F	H	F	H
MCF HC	34%	20%	45%	26%
MCF EX	58%	28%	48%	34%
PR1C	15%	19%	33%	19%
PREX1	33%	21%	31%	21%
PREX2	43%	20%	29%	18%
Total	35%	21%	41%	23%

La section 27 évalue les dossiers de demande de promotion selon les activités d'enseignement, la recherche, l'encadrement, l'investissement dans les tâches collectives et la visibilité. L'importance des différents éléments est modulée en fonction de la promotion demandée. La section est également attentive à l'évolution du dossier depuis l'entrée dans le corps ou la dernière promotion. Pour rappel, le CNU 27 affecte l'intégralité des supports de promotion qui lui sont alloués. La hiérarchisation des dossiers est comparable à un « concours » :

- analyse multicritères aboutissant à une hiérarchisation des dossiers ;
- mode « concours » : évaluation relativement aux autres dossiers en présence ;
- autrement dit : ne pas avoir la promotion ne signifie évidemment pas que le dossier n'est pas de bonne qualité.

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

Chaque dossier envoyé au CNU 27 est étudié au préalable par des rapporteurs qui étudient l'ancienneté depuis la dernière promotion, les activités de recherche, les activités d'enseignement, les tâches collectives et, pour les PR, les encadrements doctoraux. Il n'y a pas d'ordre d'importance entre ces différents critères. Avant la session, une réunion par visio-conférence permet d'élaborer une première hiérarchisation des dossiers au sein d'une tripléte de rapporteurs. Pendant la session, qui dure 5 jours, tous les dossiers sont présentés avant les échanges et les prises de décision. Au vu de la volumétrie des candidatures, chaque rapporteur a une trentaine de dossiers à évaluer.

Lorsqu'il y a plusieurs candidatures provenant d'un même établissement, voire d'une même ville, des rapporteurs communs sont désignés. Cependant, il n'y a pas de répartition géographique et/ou thématique préalable des promotions. Lorsque des candidats soumettent une candidature plusieurs années de suite, au moins l'un des rapporteurs est renouvelé.

CRCT

Les congés pour recherches ou conversions thématiques (CRCT) sont une dispense d'enseignement qui permet « d'approfondir, de débiter, de finaliser des projets de recherche ». Il est possible de bénéficier d'un CRCT :

- de 6 mois tous les trois ans d'activité. Il faut noter que le délai entre deux CRCT court à compter de la fin du premier ;
- de 12 mois par période de six ans d'activité. Il y a une exception pour les enseignants-chercheurs qui sont nommés depuis au moins trois ans et qui peuvent bénéficier d'un premier CRCT de 12 mois.

Lors du dépôt du dossier, la durée souhaitée du CRCT est précisée par les candidats : un ou deux semestres. Si, au terme de la procédure CNU puis établissement, un candidat qui avait précisé n'accepter que 2 semestres se voit attribuer un unique semestre, alors l'établissement revient vers lui en lui demandant s'il maintient « 2 semestres uniquement » ou s'il accepte un seul semestre. Dans le premier cas, il n'obtient au final aucun CRCT, et dans le second cas, il obtient un semestre. Dans le cas des demandes de deux semestres, il est possible d'obtenir un semestre par le CNU 27 et un semestre par l'établissement. Enfin, il est possible de demander un CRCT après un congé maternité ou parental ou d'adoption. Toutefois, depuis 2023, ces examens se font seulement au local : le CNU ne se prononce plus sur les demandes de ce type⁵.

Le contingent annuel du CNU correspond à 40 % du nombre de semestres attribués par les établissements l'année universitaire précédente. Le tableau suivant

5. Circulaire du MESR du 18 octobre 2021 sur les conditions d'attribution et d'exercice des CRCT accordés aux enseignants-chercheurs, https://www.galaxie.enseignementsup-recherche.gouv.fr/enusup/CRCT/CircCRCT_18octobre2021etAnnexe.pdf.

indique le nombre de semestres accordés chaque année par rapport au nombre de candidatures pour les quatre dernières années :

	2020	2021	2022	2023
Nb semestres CNU 27	18	19	18	18
Nb de candidatures	71 (77 sem MCF + 33 sem PR)	82 (58 sem MCF + 24 sem PR)	51 (61 sem MCF + 11 sem PR)	60 (60 sem MCF + 33 sem PR)

Comme ce tableau l'illustre, le taux de pression élevé implique qu'il y a une faible probabilité que le CNU attribue deux semestres à un même candidat.

Chaque dossier est préalablement étudié par deux rapporteurs, puis une triplette de trois rapporteurs est créée. Les points qui sont particulièrement regardés sont tout d'abord la qualité du dossier (clarté des informations, motivation de la demande), la nature du projet (en insistant sur l'originalité et l'impact pour le candidat), la maturité et la crédibilité du projet et enfin l'intérêt du projet pour la section 27. Une fois les dossiers évalués par les rapporteurs, une session de deux jours est organisée pour échanger sur les dossiers. De ces échanges émergent deux listes : une liste principale et une liste complémentaire. Enfin, une personne bénéficiaire d'une prime individuelle RIPEC C3 la conserve pendant la durée du CRCT. Il est possible de convertir la prime fonctionnelle RIPEC C2 ou la prime individuelle RIPEC C3 en décharge de service à hauteur d'un maximum de 2/3 du service, selon les modalités définies par le CA des établissements. Cependant, ce dispositif n'est plus une conversion en CRCT.

Suivi de carrière

Le MESR a prévu une refonte du dispositif de suivi de carrière à partir de l'année prochaine. Nous nous concentrons ici sur le processus tel qu'il a été mis en œuvre jusqu'en 2022. Le principe du suivi de carrière consistait ainsi en une étude du dossier des enseignants-chercheurs tous les cinq ans avec quelques exceptions :

- les enseignants-chercheurs nommés depuis moins de 5 ans ;
- les enseignants-chercheurs qui partent à la retraite dans les 4 prochaines années ;
- les enseignants-chercheurs ayant bénéficié d'un avancement de grade dans les 5 dernières années.

Tout enseignant-chercheur peut, s'il le désire, déposer un dossier. En section 27, le suivi de carrière n'est pas considéré comme une évaluation des activités. Il s'agit pour la section 27 d'un outil permettant aux enseignants-chercheurs qui le souhaitent, d'instaurer un échange avec la section sur leur déroulé de carrière, le contexte d'exercice de leurs missions et leurs conditions de travail. Le non-dépôt d'un dossier (ou le dépôt d'un dossier vide) est notamment sans conséquence sur les autres demandes

qui seraient faites ultérieurement auprès du CNU 27. Le dossier de suivi de carrière fait cinq pages maximum, et il n'y a pas de cadre défini pour l'élaborer. Pour les dossiers qui font état de difficultés, le bureau prend contact avec la personne concernée directement. Les dossiers envoyés font remonter que les enseignants-chercheurs sont motivés et impliqués, qu'ils aiment leur métier et ont à cœur de remplir leurs missions mais qu'ils font face à de nombreuses difficultés : les charges d'enseignement et administratives qui augmentent, la mise en place du BUT pour les collègues concernés dans des délais très courts qui a dégradé les conditions d'exercice de beaucoup, les différents épisodes de restrictions sanitaires du fait de la pandémie de COVID, les fusions et restructurations d'universités qui engendrent, dans de nombreux cas, des conditions de travail plus complexes, la prise en compte de l'interdisciplinarité et les difficultés de mobilité.



La SFP fête ses 150 ans : la SIF y était !

Camille Salinesi¹



Dès sa création, la Société française de physique² (SFP) porte des activités scientifiques telles que l'organisation de colloques, la création d'une bibliothèque de physique. Les grandes découvertes scientifiques sont toujours présentées à la SFP qui invite régulièrement des chercheurs étrangers. Jusque dans les années 1970, la SFP expose et organise des débats autour d'instruments scientifiques. Dès l'exposition universelle, la SFP est active en matière de vulgarisation. Elle crée des prix, organise des olympiades. Depuis les années 80, la SFP sert de relai entre les physiciens et les autorités publiques. Saisie par le ministère de l'enseignement, la SFP a par exemple joué un rôle essentiel dans la définition des programmes scolaires.

La cérémonie des 150 ans de la SFP s'est tenue à la Sorbonne le 16 janvier 2023, en présence de 400 participants environ. Elle est ouverte par ses trois parrains : Christelle Combes (médaille d'or du CNRS, professeure au Collège de France), Serge Haroche (prix Nobel de physique), et Sylvie Retailleau, ministre de l'ESR. À la suite des discours d'ouverture, les allocutions, vidéos et tables rondes évoquent tour à tour l'histoire de la SFP, les grands enjeux scientifiques, les missions et activités de la SFP, et ses liens avec les institutions et autres sociétés savantes.

La SFP est créée en 1873 dans des contextes scientifique et politique bien différents de ceux de 2023. La SFP est alors l'une des premières sociétés du monde dans le domaine de la physique. Depuis, on a compris la nature de la matière et de la lumière, et développé des modèles standard et cosmologiques. Les questions

1. Professeur des universités, université Paris 1 Panthéon – Sorbonne, membre du CA de la SIF.

2. <https://www.sfpnet.fr>.

contemporaines telles que la nature profonde de la matière noire ont remplacé celles de l'époque telles que la nature de l'éther. Pendant ses 150 ans d'activité, la SFP a donc animé le débat scientifique. Elle est encore souvent pour les jeunes chercheurs en physique le lieu de leur première communication scientifique et le moyen d'entrer dans la communauté. Elle a aussi été le lieu historique de controverses scientifiques, comme en témoigne l'exemple des « Rayons N » de Blondlot discutés en 1903 à la SFP, et dont la critique est ensuite rejetée par l'Académie des sciences mais adoptée par la SFP.

Madame la ministre S. Retailleau — elle-même physicienne —, souligne les avancées de la physique notamment aux interfaces de la biologie, de la chimie et de l'informatique. Elle salue les succès français (15 lauréats du prix Nobel de physique) et le dynamisme de la SFP et de tous les chercheurs en physique dans la diffusion de la culture scientifique. Les liens entre la SFP et la recherche française sont forts : on compte 8 prix Nobel parmi les présidents de la SFP. Ses membres comptent de nombreux présidents du CNRS, professeurs au Collège de France et membres de l'Académie des sciences. Tous les grands physiciens français ont contribué aux activités et à l'évolution de la SFP.

Les défis contemporains

Le rôle des femmes en sciences est un sujet phare de la SFP qui remonte à 1936, date à laquelle Irène Curie, toute première ministre de la recherche choisit de défendre deux causes : les femmes et la recherche.

L'autre grand défi est la formation, la culture scientifique et l'intérêt pour les sciences. Les politiques s'aperçoivent que la dégringolade de la France dans les classements n'est pas due à l'inadéquation de ceux-ci. Pour reprendre confiance, il faut accorder de nouveau de l'importance à l'enseignement scientifique. Selon les intervenants, on ne parle pas assez de physique dans l'enseignement, et « *si les maths tombent la physique tombe* ». Enfin, l'enseignement technique doit avoir la même ambition, le même niveau d'exigence que l'enseignement général comme le montre l'exemple de l'isolation des bâtiments. C'est à tous les niveaux que la connaissance doit être maîtrisée si l'on souhaite agir avec efficacité. « *Sans l'excellence de la réalisation, on va dépenser des centaines de milliards pour rien* ». Enfin, le faible nombre d'acteurs politiques détenant un bagage scientifique est dommageable.

Qu'ils soient scientifiques, technologiques ou sociétaux, les grands défis nécessitent de savoir faire des allers-retours : entre recherche fondamentale et appliquée, entre la physique et les autres disciplines (informatique, sciences humaines et sociales) entre recherche et innovation.

Enfin, les sociétés scientifiques sont trop absentes du débat.

Liens avec l'informatique

Les intervenants en soulignent deux qu'ils considèrent comme particulièrement importants : l'ordinateur quantique et le *big data*.

Dans le domaine de l'astrophysique, les défis scientifiques contemporains tels que la quête des origines de l'univers, la découverte de planètes telluriques offrant des conditions propices à la vie, l'étude des composantes de l'univers, ou encore la question de la matière et des énergies noires, requièrent des puissances de calcul allant jusqu'à 10^{18} *calculs.seconde*⁻¹. Des défis méthodologiques importants se posent pour les physiciens car le recours à l'IA et au *machine learning* va croissant, par exemple pour explorer l'énergie transitoire afin de suivre en instantané des événements violents qui se sont produits dans l'univers.

Dans le domaine quantique, les défis majeurs concernent la construction d'objets quantiques élément par élément, comme pour le processeur Sycamore (54 qbits supraconducteurs). Les physiciens cherchent à créer un ordinateur quantique « universel » dont la cohérence pourrait être maintenue pendant que l'on réalise les calculs, et des simulateurs quantiques capables d'émuler des modèles hamiltoniens, ce qu'on ne sait pour l'instant pas faire avec nos ordinateurs habituels.

La cérémonie des 150 ans de la SFP a été un moment agréable et instructif. La SFP démontre une dynamique avec laquelle celle de la SIF converge en de nombreux points. Il ne fait aucun doute que nous pourrions agir de manière concertée et commune.



AFIG

Association française d'informatique graphique¹



Objectifs — *L'AFIG anime depuis 30 ans la communauté académique en informatique graphique (IG). Historiquement tournée en priorité vers la recherche et la formation doctorale, l'association a lancé depuis 2021 un groupe de travail sur l'enseignement dans les premier et second cycles universitaires.*

Contexte — L'AFIG couvre des thèmes variés, comme la synthèse d'images, le rendu 3D, la modélisation géométrique, la simulation physique, l'animation, la géométrie algorithmique et discrète, la visualisation, ou la réalité virtuelle et augmentée.

De par leur spécialisation, ces thèmes sont rarement enseignés avant la troisième année de licence. Ils sont davantage présents en master, avec de fortes disparités d'une université à l'autre : les thèmes abordés dépendent fortement des équipes de recherche locales. Le nombre d'heures qui y sont consacrées dans les cursus est parfois modeste, au regard de la technicité et de la variété des contenus. Aussi, les enseignants au sein d'une même université sont souvent en nombre limité, restreignant au passage les possibilités d'échanges pourtant essentiels aux partages des bonnes pratiques et à la prise en compte des évolutions et innovations techniques et pédagogiques.

Pour ces raisons, nous avons jugé utile de nous emparer des questions relatives à l'enseignement à une échelle nationale. Dans ce but, et dans le cadre d'un nouveau groupe de travail sur l'enseignement de l'IG, nous avons choisi de créer une session dédiée à ce thème au congrès national annuel (les journées françaises d'informatique graphique) qui réunit une centaine de participants. Nous avons opté pour un format

1. <https://www.asso-afig.fr>.

table ronde, propice aux échanges, au partage d'expérience, et à l'impulsion de dynamiques participatives. La session dure une heure sur une thématique précise. Un panel de quatre à cinq orateurs choisis pour leurs pratiques diversifiées, alimente le débat. Ils débutent par un bref retour d'expérience (moins de cinq minutes). Un animateur, qui a préparé la session avec eux, anime ensuite un temps de discussion et d'échanges avec la salle.

Le choix des thématiques s'est appuyé sur un sondage réalisé en ligne. Il nous a permis de recenser : l'équilibre considéré entre théorie et pratique, les outils, langages, bibliothèques, logiciels sur lesquels les collègues se basent, les méthodes pédagogiques et d'évaluation envisagées. La première thématique choisie a été « Enseigner l'IG, par où commencer » ? Ou comment structurer son cours d'introduction à l'IG (2021). La deuxième édition (2022) a porté sur les outils, en particulier logiciels, permettant d'illustrer les concepts de l'informatique graphique, et la pédagogie associée.

Observations — Ces deux tables rondes ont suscité beaucoup de discussions et d'échanges entre intervenants et aussi au sein des membres de la communauté présents, comme nous l'espérions. Nous constatons une importante disparité dans les enseignements proposés en France, de par la quantité d'approches et de techniques possibles. Les retours d'expérience ont mis en lumière le fait que beaucoup d'innovations ont été mises en place, dans le but de motiver les étudiants sur des thématiques parfois exigeantes. Néanmoins, il en ressort une volonté commune de poser les principes de base de l'informatique graphique tout en se servant d'outils pour faire une large place à la pratique. L'impact sur la motivation des étudiants est toujours au cœur des préoccupations.

Au plan disciplinaire, nous avons relevé trois grands points d'attention :

- la découverte et l'imprégnation de la culture graphique de façon ludique, à l'aide de logiciels de type modeleur 3D (Blender) ou moteur de jeux (Unity) ;
- l'utilisation de bibliothèques dédiées ou spécialement conçues par les enseignants, ces dernières sont ou bien axées bas niveau, pour une compréhension algorithmique liée aux approches graphiques les plus complètes possible, soit beaucoup plus spécifiques et haut niveau, de façon à focaliser l'apprentissage sur un point particulier ;
- l'usage des possibilités offertes par la visualisation de phénomènes scientifiques variés en guise de motivation à la programmation et l'apprentissage des mathématiques.

Selon nous, il reste encore des chantiers à entreprendre sur le plan des outils et méthodes pédagogiques en lien avec les processus d'évaluation qui ne sont, à notre sens, pas suffisamment partagés.

Dans le futur — Cette animation sous forme de table ronde va certainement être reproduite dans les années à venir. Nous réfléchissons à d’autres leviers pour favoriser des échanges plus approfondis. Nous avons déjà pu affiner la cartographie des formations en IG en France, accessible sur le site internet de l’association.

Nous débutons un partage (sous forme de page github communautaire) d’un vivier de ressources pédagogiques déjà disponibles en ligne (cours, supports, codes...). Le but principal est de capitaliser la somme de travail nécessaire à la création de tels contextes logiciels, adaptés à nos apprentissages, de façon à créer une communauté de pratiques. Ce socle pourrait servir de guide pour faire évoluer les formations existantes ou pour en créer de nouvelles, en passant par l’identification des pré-requis essentiels en fonction des compétences recherchées à la sortie du diplôme, ou bien être utilisé par les entreprises et par les collègues d’autres universités à la recherche d’étudiants en thèse.



Enseignement de l'informatique : 10 ans d'actions

Christine Froidevaux ¹

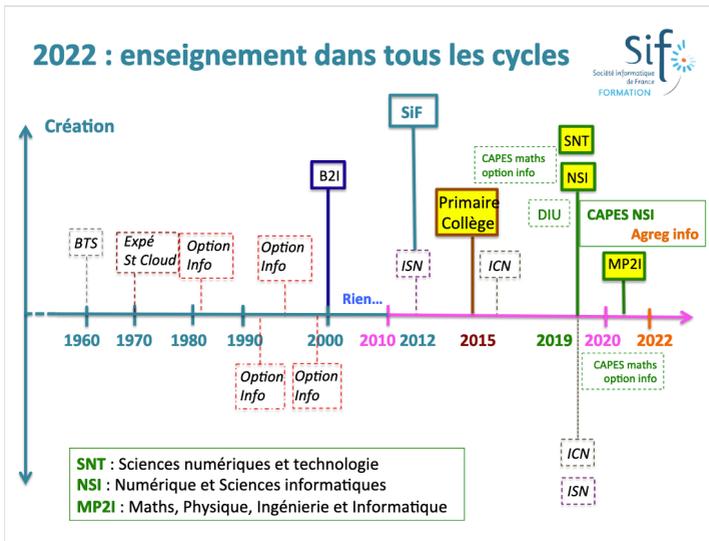
Le congrès des 10 ans de la SIF fut l'occasion de faire le bilan des 10 années passées et aussi de se projeter dans le futur. Une session intitulée « Informatique, une science qui s'enseigne et s'apprend » s'est plus spécifiquement focalisée sur l'enseignement. L'ensemble des actions menées par la SIF dans ce cadre s'est construit dans un groupe de travail enseignement constitué d'une dizaine de membres du CA. Ce groupe est piloté par des vice-présidents et des vices-présidentes enseignement de la SIF : de 2012 à 2018, Philippe Marquet, puis Christine Froidevaux de 2018 à 2021, et depuis 2021, Isabelle Debled-Rennesson. La session enseignement du congrès a débuté par un exposé rétrospectif d'une partie des actions pour l'enseignement de l'informatique réalisées par la SIF durant les dix dernières années. Ensuite, les enjeux pour la prochaine décennie ont fait l'objet du second exposé ainsi que les actions et les thèmes sur lesquels la SIF souhaiterait s'investir. La session s'est conclue par une table ronde sur un thème qui nous semble être un défi fondamental pour demain, celui d'une culture informatique pour toutes et tous. La retranscription des exposés, revisités par leurs auteurs, figure dans les pages suivantes.

Comme vous l'avez déjà entendu hier et ce matin, le bilan est fructueux sur le volet de l'enseignement : tant au niveau du primaire que du secondaire, l'enseignement de l'informatique est entré en force, avec une reconnaissance indéniable. On observe un cercle vertueux sur ces dix dernières années puisque la SIF a contribué, à sa façon, à la reconnaissance de l'informatique en tant que discipline scolaire, et, en

1. Professeur émérite à l'université de Paris-Saclay, vice-présidente de la SIF de 2015 à 2018, vice-présidente enseignement de la SIF de 2018 à 2021.

même temps, cela a permis à la SIF d’être reconnue elle-même en tant que société savante d’informatique. Je vais essayer de vous montrer par les quelques exemples qui suivent, comment elle est devenue une interlocutrice d’un certain nombre d’institutions, un lieu d’échange, un point de contact, et comment elle est au cœur d’un réseau, ce sur quoi je terminerai.

Je vais commencer par raconter l’histoire de l’enseignement de l’informatique, très brièvement. Je vais procéder par décennies et mentionner quelques exemples marquants : il y en a sûrement d’autres, j’en ai oublié, vous pourrez compléter si vous le voulez. Je me suis arrêtée à 1960 en remontant dans le temps, avec la création d’un BTS informatique.



A la décennie suivante (années 70), on a eu une expérimentation d’un enseignement d’informatique — d’abord au lycée de La Celle Saint-Cloud, puis après dans d’autres lycées — qui a perduré un certain temps. À la décennie suivante (années 80), on a assisté à la création d’une option informatique, d’abord en seconde dans une douzaine de lycées, et puis après, ça s’est généralisé avec une montée en première, en terminale, jusqu’en 1985. Là, on aurait pu penser que c’était la reconnaissance ac-tée de l’enseignement de l’informatique en tant que discipline, mais on arrive après à une période tout à fait curieuse où cette option informatique, créée sous Savary, va fluctuer au gré des ministres suivants... On observe qu’en 93, l’option info, sous Jospin, est supprimée; qu’en 95, sous Bayrou, elle est réintroduite; puis qu’en 98, sous Allègre, elle est à nouveau supprimée. Il y a des hauts, des bas, on ne sait pas bien quelle place donner à l’informatique. J’arrive à la décennie suivante, où il ne se passe pas grand-chose : il y a bien un Brevet informatique et internet (B2I), puis plus

rien parce que l'informatique, c'était un plan informatique, c'était vu comme des problèmes de matériel, d'outils numériques, pas du tout comme une discipline. Nous arrivons à la décennie suivante (années 2010), et là, c'est l'explosion. On assiste à la création d'Informatique et sciences du numérique (ISN), en même temps d'ailleurs, en 2012, que la création de la SIF, et on pourrait se demander si la SIF y est pour quelque chose... Mais il faut noter plutôt la nomination concomitante d'un inspecteur général de mathématiques pour l'informatique, Laurent Chéno. Puis l'enseignement arrive au niveau du primaire, l'option Informatique et création numérique (ICN) est créée. Ça s'accélère, ça s'accélère, on va avoir, au niveau des enseignements, les enseignements Sciences numériques et technologie (SNT) et Numérique et sciences informatiques (NSI), autour de 2019, donc SNT en seconde, NSI en première puis en terminale. En même temps que SNT et NSI sont créées, ICN et ISN disparaissent. Vous avez remarqué les subtiles variations autour des trois mots de ISN, avec « numérique » et « informatique », « numérique » étant tantôt un adjectif, tantôt un nom commun tandis que « informatique » figure presque tout le temps, sauf en seconde pour SNT, c'est regrettable mais c'est comme ça. En même temps qu'on voit apparaître ces enseignements, il y a des concours de recrutement ou des formations d'enseignants : il y a d'abord eu l'option informatique au CAPES de maths, ensuite le Diplôme inter-universitaire Enseigner l'informatique au lycée (DIU-EIL), sur lequel je reviendrai plus tard. Nous poursuivons avec la décennie suivante...

Après le CAPES NSI qui a été annoncé en janvier 2019 dans une déclaration de Jean-Michel Blanquer, vient le temps de la création de l'agrégation d'informatique. On est d'ailleurs en pleine activité de recrutement, puisque Sylvie Boldo, présidente du jury du concours, fait actuellement passer les premiers oraux de l'agrégation d'informatique en ce mois de juin 2022. On peut se demander quel rôle la SIF a joué dans cette accélération remarquable. Nous avons eu plusieurs rendez-vous avec des cabinets de ministres entre 2015 et 2017 et avec le ministère de l'Éducation nationale. Mais il y avait eu déjà en 2014, un rendez-vous à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), sur l'éducation au numérique. Après, il y a eu du travail de terrain, et nous avons participé à des consultations lors de plusieurs missions :

- (1) la mission Monteil sur le numérique ;
- (2) la mission Villani-Torossian sur l'enseignement des mathématiques (il est à noter que ce rapport mentionnait comme recommandation qu'il fallait introduire l'enseignement de l'informatique) ;
- (3) la mission Mathiot, à laquelle nous avons été conviés deux fois, autour de la réforme du bac général et technologique.

Il fallait aussi penser à la formation des enseignants, et nous avons rencontré la Direction générale des ressources humaines (DGRH) du ministère de l'Éducation nationale au sujet du DIU-EIL, ainsi que la Direction générale de l'enseignement

scolaire (DGESCO). Outre l'OPECST et les ministères, nous avons eu des actions à l'Assemblée nationale. Il y a eu des « coding apéros », organisés grâce à l'aide précieuse de Danièle Hérin, députée et informaticienne, et de Colin de La Higuera. C'est ainsi, que certains membres de la SIF ont pu jouer au cadavre exquis en langage Scratch, avec le député Bruno Studer. Ce dernier a piloté la commission sur « La place et le rôle de l'école dans la société du numérique » en 2018, et nous a auditionnés avec l'EPI.

Ce qui nous intéressait aussi, une fois que la spécialité NSI a été créée, c'était son déploiement. C'est pourquoi, concernant la feuille de route, nous avons demandé des rendez-vous à la Direction générale de l'enseignement supérieur et de l'insertion professionnelle (DGESIP), à deux reprises, pour parler de NSI, et puis après, pour demander la création de l'agrégation.

Les travaux de la SIF ne concernent pas exclusivement l'informatique et nous nous sommes également préoccupés de ce qu'il se passait dans les autres disciplines avec la nouvelle réforme du bac. Nous avons anticipé le fait que les programmes de lycée allaient changer et nous espérions que l'informatique en ferait partie, mais il fallait tenir compte des autres disciplines qui existaient déjà et dont les programmes allaient évoluer. On s'est donc concerté avec les autres sociétés savantes, notamment celles de mathématiques. Philippe Marquet a monté un groupe de travail maths-info avec la Société mathématique de France (SMF) et nous avons rédigé un document commun *Éléments de mathématiques pour l'informatique*, qui porte sur les notions de mathématiques qu'il nous semble pertinent d'enseigner en lycée pour que l'informatique puisse être bien appréhendée. Et puis, surtout, avec plusieurs sociétés savantes, pas seulement de maths mais aussi de physique, de chimie, également avec le représentant d'un lycée professionnel, on a monté un Groupe interdisciplinaire pour l'enseignement des sciences (GIS). Nous avons participé à ce GIS dans une ambiance fort sympathique et stimulante. Nous avons fait des propositions qu'on a diffusées, et même si on ne sait pas trop ce qu'elles sont devenues, si elles ont été lues ou pas, cela nous a permis de bien réfléchir et nous a amenés à mûrir notre réflexion sur les notions qu'il nous semble important d'enseigner en informatique. On a eu aussi des rendez-vous à l'Académie des sciences dont plusieurs membres du conseil scientifique de la SIF sont membres. Nous avons eu ainsi l'occasion d'être reçus avec d'autres membres du GIS par le groupe de travail formation présidé par Eric Westhof. Nous nous sommes également rendus au Conseil supérieur des programmes (CSP) pour demander une audition et dire : « *Il faut quand même penser à l'informatique* ».

Après avoir obtenu que des filières d'enseignement existent, il a fallu ensuite s'occuper de ce qu'on mettait dedans, des contenus, et il y a eu un groupe de travail pour faire des propositions de programmes au sein du Conseil supérieur des programmes. Concernant SNT et NSI, plusieurs membres du conseil scientifique et du conseil d'administration de la SIF se sont retrouvés impliqués dans ce groupe de travail,

parce qu'ils étaient membres de conseils de la SIF ou pour leur expertise. La SIF a également, après la publication de ces programmes, produit des documents d'analyse, de réflexion, qui donnaient un autre regard sur ces contenus. Et puis, il y a eu de l'informatique en classe préparatoire assez rapidement, et il y a eu une filière dédiée à l'informatique beaucoup plus tardivement, soit MP2I, pour mathématiques, physique, ingénierie et informatique. Là encore, concernant l'élaboration de propositions de programmes, la SIF a eu un représentant dans le groupe de travail du CSP.

La SIF ne s'est pas intéressée seulement aux programmes d'informatique, mais aussi à comment enseigner l'informatique. Côté didactique, on a fait des petits pas. Dès le début, plusieurs personnes de la SIF, en particulier Philippe Marquet, ont participé à des colloques francophones — en Suisse, en Belgique, et en France. Cette année, le colloque Didapro–DidaSTIC a eu lieu au Mans, en lien avec l'INSPE Nantes. Ce sont des questions qui nous préoccupent et il y a encore beaucoup de travail à faire. Nous avons aussi travaillé avec l'Assemblée des directeurs d'IREM (ADI-REM). Les Instituts de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM) se sont ouverts aux sciences et certains sont devenus des Instituts de recherche pour l'enseignement des sciences (IRES). L'informatique y a une place particulière, puisqu'il y a une commission inter-IREM informatique (C3I), qui a été créée. La C3I se réunit régulièrement, réfléchit sur les questions liées à l'informatique comme discipline dans l'enseignement et a commencé à élaborer un glossaire de termes informatiques sous forme de wiki.

Après ce volet didactique, revenons au volet formation des enseignants. J'ai déjà mentionné le CAPES de maths option info, pour lequel la SIF a créé une *mailing list* et a permis de regrouper tous les enseignants du supérieur qui avaient accepté d'être formateurs dans leurs différentes universités. Concernant ce fameux Diplôme inter-universitaire enseigner l'informatique au lycée (DIU-EIL), autrement dit DIU pour NSI, il se trouve que plusieurs acteurs étaient présents. Il y avait le groupe de travail pour réfléchir aux programmes NSI, on savait qu'il fallait former les professeurs de lycée, et il y avait déjà des enseignants-chercheurs qui s'étaient regroupés et avaient mis au point une *mailing list* : ils réfléchissaient à la façon de faire pour former les professeurs de lycée. La SIF a servi, un petit peu grâce aussi à Laurent Chéno, d'interlocuteur avec la DGRH du ministère. Comme on avait travaillé sur ce DIU-EIL, la DGRH a dit : « *C'est très intéressant, ce que vous faites. Maintenant il y a un CAPES NSI et on vous garderai bien un peu.* » Il y avait Antoine Meyer, Christophe Declercq, et on était là pour faire une maquette de CAPES NSI. Le programme, c'est-à-dire, le contenu, c'était facile, je crois qu'on avait dit : « *Globalement, c'est le contenu de NSI qui est au programme du CAPES.* » Je caricature un peu mais ça nous a pris moins de temps de réfléchir au programme qu'à la maquette qui a suscité beaucoup de discussions. Puis on nous a dit : « *Cette année, l'agrégation d'informatique recrute ses premiers candidats* », et des membres de la SIF ont participé à l'élaboration de la maquette et du programme. La vice-présidente enseignement,

Isabelle Debled-Rennesson, qui était déjà VP enseignement de la SIF l'an dernier, a mené un groupe de travail interne réunissant des enseignants du supérieur et de classes préparatoires. Cette réflexion a donné lieu à un certain nombre de productions : des communiqués, des lettres ouvertes, des analyses, des memorandum. Vous pouvez trouver tous ces documents dans les archives de la SIF sur son site internet. C'était pour demander, pour saluer, commenter des annonces, analyser : par exemple, prendre les statistiques des choix de spécialités et voir combien de filles, combien de garçons, dans quels lycées, dans quelles régions... J'en profite pour remercier Robert Cabane, qui a souvent effectué ce genre d'analyses pas toujours faciles. La SIF a été amenée à signer plusieurs tribunes sur ces sujets : elle a fait des communiqués en signant seule et aussi en co-signant.

A ce propos, je voudrais rappeler cette tribune parue dans *Le Monde* en janvier 2018 qui comportait dix-sept signataires, dont la SIF, bien sûr, le Syntec Numérique (devenu Numeum), le Cigref, le Cinov-IT, Pasc@line — devenue Talents du Numérique — la Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs (CDEFI), l'Union des classes préparatoires scientifiques. Sur un sujet d'importance comme celui-ci, les milieux professionnels rejoignaient les vues de la SIF. Le but de la tribune, c'était de proclamer avec force d'arguments : « *Il est urgent de reconnaître l'informatique comme discipline scolaire.* » C'était en janvier 2018 et vous voyez que le chemin jusqu'à cette reconnaissance a été parcouru.

La SIF s'est aussi intéressée aux questions d'orientation et a réfléchi aux moyens à mettre en œuvre pour que les élèves aient envie de faire de l'informatique. Il y a eu un premier travail en 2015 avec les sociétés de mathématiques SMAI (Société de mathématiques appliquées et industrielles) et SMF, l'ONISEP, pour faire un zoom sur les métiers des mathématiques et de l'informatique. Le groupe de travail s'est élargi quand on l'a repris en 2019 et le nouveau ZOOM sur les métiers des mathématiques, de la statistique et de l'informatique a été publié en 2021. Le groupe de travail s'est étendu à l'association Femmes et maths parce que ça nous semblait important d'attirer des femmes vers ces métiers des mathématiques, de la statistique et de l'informatique. La SIF a aussi été partenaire d'un travail avec Talents du numérique pour produire une fiche sur Comment choisir ses spécialités au lycée.

Je voudrais revenir sur la bande dessinée *Les décodeuses du numérique*, dont Laure nous a parlé hier à la table ronde médiation. La BD est une initiative du CNRS-INS2I. Les médiateurs ont souhaité ensuite faire des fiches d'accompagnement, et la SIF a été associée à plusieurs fiches, dont une sur l'orientation et le choix des spécialités. Notons que c'est la SIF qui a mis en contact les responsables médiation du CNRS-INS2I avec le directeur de la DGESCO, ce qui a permis que cette fameuse BD *Les décodeuses du numérique* rentre dans les lycées, et qu'un partenariat puisse être signé entre l'Éducation nationale et le CNRS. Voilà un rôle que nous avons pu jouer en gagnant en visibilité et en augmentant notre réseau de relations.

Enfin, je voudrais saluer Marie Dufлот-Kremer qui, concernant l'orientation, a fait un joli *podcast* sur le thème Bien préparer son entrée en licence d'informatique.

Les événements ont fait qu'on a investi beaucoup de forces dans toutes ces créations d'enseignements et dans les formations d'enseignants pour le lycée, mais on s'est bien sûr intéressés aussi au supérieur, et ce dès 2012. De 2012 à 2014, la SIF a participé à des colloques pour la constitution de référentiels, comme sur le thème Comment former un enseignant de licence de premier cycle. Jean-Christophe Janodet et Philippe Marquet ont été très actifs dans ce domaine. C'était plus ou moins en lien avec la conférence des doyens et directeurs d'UFR scientifiques (CDUS). Il y a eu aussi, à la même époque, un souhait de faire le point sur les formations en informatique, et il y a eu un annuaire qui a été géré par la SIF, sans doute dans la continuité du travail fait avec SPECIF, sur les masters. On s'est aussi intéressés à l'utilisation des MOOC pour l'enseignement supérieur. Tous les ans, la SIF organisait des journées pédagogiques, et en 2014, le thème était Informatique et MOOC. On ne s'est pas seulement intéressé à l'informatique pour les cursus informatiques dans le supérieur mais aussi à l'informatique en lien avec les sciences humaines. C'est ainsi qu'on a organisé deux journées en 2015 sur l'enseignement de l'informatique pour les humanités et sciences sociales, un sujet qui nous semble important, et j'imagine que cela va continuer. Et puis, depuis l'introduction de NSI en 2019, tous les ans, la SIF organise des journées pédagogiques autour des problèmes de cohérence des enseignements, dans les formations de bac-3 à bac+3. C'est un continuum, il n'y a pas, d'une part, l'informatique au lycée, et, d'autre part, l'informatique dans le supérieur.

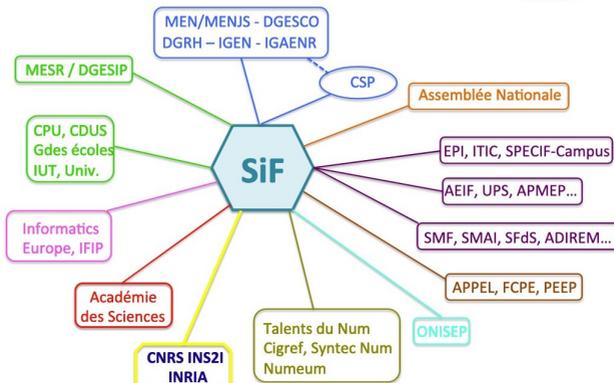
On parle beaucoup de science informatique mais il n'y a pas que la science, il y a aussi tous les aspects éthiques, les conséquences qu'elle peut y avoir sur la société, et la SIF a aussi parfois tapé du poing sur la table. La SIF fait partie de ceux qui ont fortement protesté lorsque l'Éducation nationale a signé un partenariat avec Microsoft fin 2015. Microsoft donnait gentiment les logiciels et, en échange, pouvait récupérer les données. Donc là, la SIF, avec plusieurs autres associations, comme l'EPI, les associations de parents d'élèves, de défense de logiciels libres, et d'autres, a demandé un rendez-vous, qu'elle a obtenu, pour protester contre ce partenariat. On a été reçus par Gilles Braun et Jean-Marc Merriaux, qui ont été ensuite en charge de la mission IGEN-IGAENR sur les données numériques à caractère personnel au sein de l'Éducation nationale. Ils ont produit un rapport en février 2018 qui formulait plusieurs préconisations, parmi lesquelles la création d'un comité d'éthique. Un peu plus tard, en 2019, Jean-Michel Blanquer a décidé la création du Comité d'éthique pour les données de l'éducation. Depuis, nous sommes plusieurs membres de la SIF à être dans ce comité d'éthique.

La SIF s'est également positionnée au niveau international. L'an dernier la coalition Informatics for All, une initiative de Informatics Europe, s'est appuyée sur le

réseau de l'*International Federation for Information Processing, Technical Committee 3* (IFIP-TC3), pour demander aux représentants nationaux de faire un retour sur des lignes directrices de construction de curriculum d'informatique (pour tous) au moins dans le cadre européen. Il se trouve que la SIF est représentante de la France au sein de l'IFIP, et concernant ce curriculum, le représentant pour la France du TC3 Education a demandé explicitement au président et aux vice-présidents enseignement de la SIF de faire des propositions. Nous avons mis en avant et mentionné ce qui était enseigné en France, à la fois au niveau de SNT et de NSI, et aussi parlé du concours de l'agrégation d'informatique, avec les aspects éthiques.

Pour résumer, comme vous avez pu le constater, la SIF a initié et entretenu des relations avec beaucoup de partenaires. Sur le schéma ci-dessous, j'ai mis la SIF au centre puisqu'aujourd'hui, ce sont ses dix ans et qu'elle est à l'honneur. J'ai indiqué tous les instituts, les services, avec lesquels la SIF a créé des relations, établi des contacts à propos de l'enseignement de l'informatique. C'est d'abord tout ce qui tourne autour du ministère de l'Éducation nationale, avec le Conseil supérieur des programmes ; puis l'Assemblée nationale, l'Académie des sciences, dans la mesure où on a été reçus et où on a eu et on a encore plusieurs membres de l'Académie des sciences au conseil scientifique. J'ai marqué aussi nos contacts avec l'ONISEP, avec Talents du numérique, Cigref, Syntec Numérique — qui maintenant est Numeum — et puis, bien sûr, avec l'Enseignement supérieur : j'ai mentionné la DGESIP, la Conférence des présidents d'université (CPU), les grandes écoles, l'école universitaire, les IUT, etc ; à l'étranger, Informatics Europe, dont je viens de parler. Et tout cela n'aurait pas été possible sans des soutiens, à la fois scientifiques, amicaux et financiers : je veux mentionner et remercier ici le CNRS-INS2I et INRIA.

Partenaires et interlocuteurs



Je tiens à remercier personnellement tous ceux qui ont œuvré à la SIF sur ce volet de l'enseignement. J'ai vécu cette aventure, au plus près, pendant six ans — trois ans de vice-présidence et trois ans de vice-présidence enseignement — et voudrais conclure en disant que cela a été une aventure riche, sympathique, mais parfois ardue. Ardue, parce que c'est vrai qu'au début, nous étions reçus par les instances mais on nous répondait : « *On n'est pas d'accord* ». Après, on nous disait : « *On ne peut pas ne pas être d'accord avec vous* », et puis enfin, ça a été : « *On est d'accord, on va le faire.* » Voilà, bien du chemin a été parcouru, un chemin toujours stimulant. C'est une belle expérience qui, bien sûr, continue.



Enjeux de la prochaine décennie

Isabelle Debled-Rennesson¹, Basile Sauvage², Jean-Marc Vincent³

Après l'exposé de Christine Froidevaux proposant une rétrospective des 10 ans d'actions de la SIF au sujet de l'enseignement de l'informatique, la SIF se projette dans la prochaine décennie avec un exposé présentant les défis à relever.

Isabelle Debled-Rennesson : Avant d'exposer les enjeux, les défis que nous envisageons pour la prochaine décennie, je vais faire un point rapide sur notre vision du rôle de la SIF concernant l'enseignement.

Rôle de la SIF - enseignement



- Permettre d'assurer en France un enseignement en informatique homogène (sur le territoire) et cohérent (entre les niveaux)
 - Rôle à la fois collaboratif et critique
 - ◆ Travail sur les contenus / fond / programmes
- Vigilance sur la formation des enseignants
 - Soutien à la reconnaissance des carrières
- Renforcer les liens avec les acteurs sociaux-économiques du numérique
- Veille sur les sujets d'actualité
 - Prises de position
 - Collaboration avec les associations partenaires

-
1. Professeure des universités, université de Lorraine, VP enseignement de la SIF.
 2. Maître de conférences, université de Strasbourg, membre du CA de la SIF.
 3. Maître de conférences, université de Grenoble, membre du CA de la SIF.

Le premier point, qui nous semble fondamental, est de permettre d'assurer en France, de manière transverse, du primaire jusqu'au supérieur, un enseignement en informatique homogène et cohérent sur l'ensemble du territoire permettant par exemple de faciliter les passerelles entre les formations. Dans ce cadre-là, nous avons un rôle à la fois collaboratif et critique : par exemple dans le second degré, les membres du CA de la SIF ont quelque fois été sollicités pour faire partie des commissions qui élaborent ou révisent les programmes, les maquettes des concours, etc., mais il faut aussi garder un regard critique pour pouvoir réagir si on constate des éléments discutables dans les programmes, dans les parcours, dans les mises en œuvre, etc, et nous avons donc à la fois ce rôle collaboratif et critique.

Le deuxième point concerne la formation des enseignants, c'est un point crucial. Des formations à l'informatique doivent être mises en place dans tous les INSPÉ pour le premier et le second degré. D'autre part, nous sommes très attentifs à la reconnaissance des carrières, en particulier de nos collègues du second degré qui se sont investis en informatique, par exemple en passant le DIU.

En troisième point, nous souhaitons renforcer les liens avec les acteurs socio-économiques du numérique et mener des actions communes. Pour l'instant, nous avons peu d'actions dans ce cadre et nous devons y travailler.

Enfin, nous avons un rôle de veille sur l'ensemble des sujets d'actualité qui concernent l'enseignement de l'informatique : il faut réagir rapidement et prendre position. Cela peut se faire seul quand il s'agit de sujets spécifiques de notre domaine, l'informatique, mais on peut aussi le faire — et quand on est nombreux, on est plus forts — avec les différentes associations partenaires. Un exemple récent, encore d'actualité, au sujet de la place des sciences au lycée : nous faisons partie du collectif *Maths et sciences* et nous avons contribué à l'écriture d'une lettre ouverte, envoyée au ministre le 2 juin, pour demander une concertation sur le sujet de la place des sciences au lycée.

Je laisse maintenant la place à Basile, qui va détailler les éléments sur lesquels nous souhaitons travailler au niveau de l'enseignement supérieur.

Basile Sauvage : Merci Isabelle. J'ai repris, pour commencer, le premier point de la diapo précédente, qui a quand même une saveur particulière dans l'enseignement supérieur : « favoriser un enseignement supérieur homogène (sur le territoire), cohérent (entre les niveaux), et de qualité ». Quand on voit la variété d'établissements, l'autonomie, etc., on se demande ce que ça peut vouloir dire. Évidemment, ça n'a pas le même sens que dans l'enseignement secondaire ou primaire, mais c'est un objectif pour la fluidité des cursus et des parcours d'étudiants. Et ça veut dire, selon moi, deux choses :

- (1) il ne va pas falloir travailler prioritairement de manière *top-down*, en travaillant avec les institutions, mais en travaillant aussi beaucoup de manière *bottom-up*, avec les établissements, notamment avec les universités ;

(2) il ne va pas falloir travailler seuls. J'ai souri en voyant, Christine [Froidevaux], ta diapo sur les multiples collaborateurs et les interlocuteurs, parce que quand j'ai commencé à faire la liste, ça a donné ça. Premièrement, il y a les acteurs de l'enseignement : composantes, établissements, réseaux d'établissements, ministères, organismes d'évaluation, corporations comme l'UPS ou SPECIF Campus. Deuxièmement, il y a les acteurs socio-économiques : CI-GREF, NUMEUM, Talents du numérique, corporations. Troisièmement, il y a les acteurs de la pédagogie : IREM, INSPÉ, laboratoires de sciences de l'éducation, communautés de pratiques pédagogiques. Ces listes ne sont pas exhaustives, bien entendu. J'en conclus qu'on va travailler dans un écosystème où la SIF a un rôle à jouer, mais ça ne sera jamais tout seul, et ça va être en collaboration avec tous ces gens-là. Ça va émerger quelque part mais pas forcément au sein, spécifiquement, de la SIF.

Explorons maintenant, concrètement, des grands chantiers qui sont devant nous. Un premier chantier qui nous semble important, c'est de travailler à la fédération de ces différents acteurs de l'enseignement supérieur. Il y a des acteurs qui sont déjà bien structurés en réseaux : je pense par exemple aux IUT. C'est beaucoup moins vrai pour les différentes facultés et, d'ailleurs, récemment, on discutait de pourquoi on entend assez peu le mot « université » dans les discours alors que, pour la plupart d'entre nous, on est universitaires, c'est notre université qui nous permet de venir ici, et qu'une grande partie des personnes morales adhérentes à la SIF sont des facultés ou des départements d'enseignement. Probablement qu'un des éléments de réponse, c'est qu'il n'y a pas cette parole unique, il n'y a pas ce côté réseau, très fédéré, et c'est une chose à laquelle il me semble important de travailler, il va falloir animer. Alors, il y a déjà des choses à la SIF, les journées de l'enseignement servent notamment à ça, mais il y a probablement d'autres choses à inventer, d'autres modes d'action à inventer ici.

Une deuxième piste serait de renforcer les liens entre l'enseignement supérieur et l'enseignement du second degré, on l'a déjà entendu aussi. C'est important pour les élèves et les étudiants, mais c'est aussi important pour les enseignants. J'entends beaucoup les enseignants du secondaire dire aux enseignants du supérieur « *on veut travailler avec vous, on a besoin de vous* », et les enseignants du supérieur dire la même chose en retour, pour des tas de raisons : pour des raisons de formation, de travail ensemble, de continuité d'expertise, etc. Donc il faut le faire, il faut qu'on œuvre dans ce sens-là.

Une troisième piste audible, même si ce n'est évidemment pas l'alpha et l'oméga de l'enseignement supérieur, permet de soutenir la discipline. Il s'agit de dire qu'il y a des besoins économiques, donc il y a des besoins de formation, donc il y a des besoins d'enseignants et d'enseignants-chercheurs. Il faut des postes, il faut du monde pour enseigner : enseigner pour les futurs informaticiens et informaticiennes, mais

aussi dans les autres disciplines, et aussi dans les formations inter-disciplinaires. Ça va probablement être quelque chose d'important.

À travers les différentes pistes que je n'ai qu'ébauchées, on voit des enjeux de différentes natures :

- il y a des enjeux de nature institutionnelle, c'est évident ;
- il y a des enjeux de nature pédagogique. Il y a déjà des tas de lieux d'échange autour de la pédagogie, des congrès sur la pédagogie de l'enseignant supérieur, qui existent, et puis il y a des sujets, là-dedans, en pédagogie, qui vont nous relier tous. Je prends cet exemple : tous les établissements, en ce moment, sont en train de travailler ou ont avancé sur l'évaluation des compétences, l'approche par compétences. Il y a des sujets, comme celui-là, qui sont évidents pour tout le monde en ce moment, et il y aura des choses à faire ;
- le dernier point, c'est la question de la didactique. On a entendu qu'il y avait des choses qui se faisaient : vraisemblablement, il y a une discipline qui est en train d'émerger, qui est la didactique de l'informatique, et la SIF peut avoir un rôle pour soutenir ça et accompagner ça.

Isabelle Debled-Rennesson : Concernant le lycée, nous avons eu une grande satisfaction avec l'arrivée de la spécialité NSI mais il y a encore des choses à faire et surtout, à soutenir, notamment rendre NSI accessible à tout élève du territoire qui souhaite suivre cette spécialité. Ce n'est pas encore le cas dans toutes les académies, et nous demandons donc cette égalité territoriale. Celle-ci pourra être obtenue s'il y a une augmentation du nombre d'enseignants de NSI et donc un nombre de postes au CAPES et à l'agrégation plus conséquent que celui de cette année.

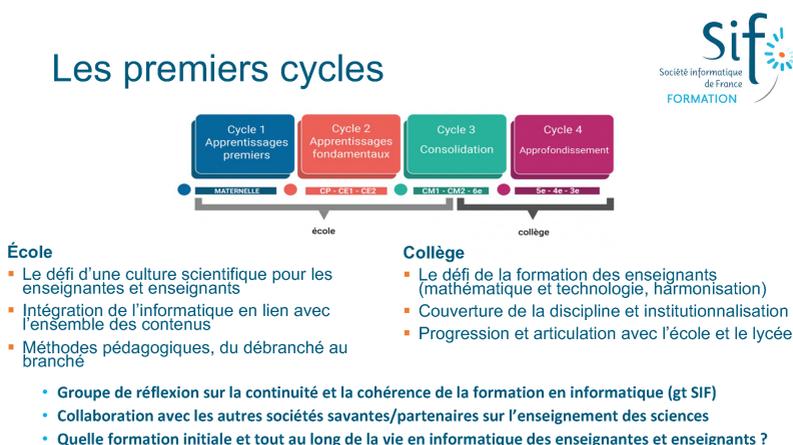
Dans le même cadre, nous allons veiller à la continuité NSI/MP2I, c'est à dire que les élèves, avec de bons dossiers, qui ont suivi NSI puissent poursuivre en MP2I. En effet, une conséquence de la disparité d'accès à NSI est que la sélection à l'entrée dans les formations bac+1 en informatique ne peut pas se faire sur NSI et conduit quelquefois à des sélections sur les autres disciplines sans tenir compte de NSI.

Dernier point concernant NSI, nous militons aussi pour avoir trois spécialités en terminale, ce qui permettrait d'éviter un choix, souvent guidé par les possibilités d'orientation, où les élèves abandonnent NSI en fin de première. Cette revendication a été indiquée dans une lettre que nous avons envoyée aux candidats à la présidence, cela a été fait dans le cadre du conseil scientifique.

Un point qui nous semble primordial, est faire de SNT, enseignée dans toutes les classes de seconde, un point-clé pour une culture numérique pour toutes et tous. Il faut motiver et former les enseignants à cette matière, nous envisageons une journée enseignement sur cette thématique, qui pourrait être proposée au PNF, permettant ainsi aux collègues du second degré d'y participer.

Dernier point, on veut aussi faire progresser l'orientation vers NSI et vers les formations du supérieur en informatique, en insistant auprès des publics féminins, il y a un gros travail à faire. Dans ce cadre-là, un zoom Onisep a été réalisé sur les métiers des maths et de l'informatique, et nous souhaitons maintenant la rédaction d'un zoom Onisep sur les métiers de l'informatique. Nous participons aussi à la journée nationale NSI mise en place cette année ainsi qu'aux trophées NSI, et puis certains d'entre nous participent aux actions comme « 1 Scientifique, 1 Classe : Chiche ! ». Tout cela contribue à orienter les élèves vers les formations en informatique et aussi vers NSI.

Je laisse la parole à Jean-Marc, qui va nous parler des premiers cycles.



Jean-Marc Vincent : En reprenant les propos précédents, on constate que l'enseignement de l'informatique se conçoit de l'école élémentaire jusqu'à l'université. Il faut ainsi parler de l'informatique dans un langage qui soit homogène sur tout le cursus, ceci quels que soient les enseignants et les niveaux d'enseignement. Or, quand vous êtes en école primaire, en collège ou en lycée, les manières dont sont organisées les enseignements sont très différentes, et donc la façon d'enseigner l'informatique est différente aussi.

Par exemple, en école primaire, les professeurs des écoles pour la plupart n'ont pas une formation initiale scientifique : de l'ordre de 80 % des enseignants et enseignantes ont une formation initiale en sciences humaines ou en lettres, la culture scientifique et en particulier la culture en informatique est limitée de par leur formation initiale. En conséquence, il faudra leur apporter de la nourriture scientifique en informatique pour leur permettre d'enseigner sereinement les éléments informatiques des programmes.

Le problème sous-jacent : comment on fait-on pour assurer une telle formation à tous les enseignants du primaire ? Puis, comment articuler un enseignement scientifique en établissant les liens entre les différentes disciplines telles que les mathématiques, la physique, la chimie, les sciences de la vie et de la terre etc.

C'est un défi pour les prochaines années. Nous devons mener la réflexion, travailler avec d'autres partenaires, les autres sociétés savantes, les associations d'enseignants, pour imaginer ce que peut être un enseignement scientifique en école primaire dans lequel on a intégré les objets informatiques, et construire des projets de formation des enseignants afin qu'ils puissent assurer ces enseignements.

De gros efforts ces dernières années, soutenus entre autre par la SIF, les IREM ou INRIA, ont permis de développer par exemple des outils pédagogiques comme l'informatique sans ordinateur, la démarche a été accueillie à bras ouverts par la communauté enseignante de primaire, de collège et de lycée. Que l'on dise : « *On va parler de concepts informatiques avec des objets, des ficelles, des clous, etc.* » et qu'ensuite cela permette d'introduire les concepts fondamentaux d'information, d'algorithme, de langage informatique et de structure de machine, etc. Si initialement de telles activités sont de la médiation scientifique un effort d'institutionnalisation est entrepris par l'enseignant, en particulier pour assurer la transition entre le débranché et le branché, les activités de programmation en Scratch (collège) ou Python en lycée.

Nous proposons trois axes prioritaires sur la question de l'enseignement de l'informatique :

- (1) assurer la continuité en contenu informatique de l'école élémentaire jusqu'au lycée, être capable de tenir un discours cohérent sur tout le cursus ;
- (2) proposer avec d'autres sociétés savantes, un modèle dans lequel on intègre toutes les sciences avec un discours cohérent, scientifique, au niveau des écoles ;
- (3) proposer des programmes de formation des futurs professeurs des écoles et des professeurs actuellement en poste.

Face au défi de l'introduction de la discipline informatique (NSI) au lycée, la communauté académique a eu l'opportunité de mettre en place le Diplôme inter-universitaire enseigner l'informatique au lycée (DIU EIL). C'est un des rares diplômes inter-universitaires, au niveau national : quarante-quatre universités se sont fédérées et ont formé entre mille huit-cents et deux mille personnes, des professeurs en poste. La communauté scientifique en informatique a ainsi un rôle de formation d'adultes en situation d'enseigner NSI, d'enseigner à l'école. Je suis convaincu qu'il faut vraiment rebondir sur cette expérience-là, sur cette fédération d'universités, sur l'entente sur le cursus, pour dire que les universités sont des partenaires de formation à part entière, distincts de l'Éducation nationale, donc d'imaginer des partenariats de formation continue, peut-être nationaux, peut-être régionaux et locaux avec des accords avec les rectorats, afin de former l'ensemble des enseignants concernés et à

prolonger des formations initiales par des formations courtes tout au long de la vie. C'est l'enjeu : comment va-on former et comment va-t-on prolonger la formation continue en informatique pour l'ensemble des enseignants, du primaire à l'université ?

CFEI



- **Projet de construction de la *Commission Française pour l'Enseignement de l'Informatique***
 - Réunir les organisations françaises impliquées dans l'enseignement de l'informatique (Specif Campus, AEIF, EPI, IREMI, ...)
 - Répondre aux questions posées à l'enseignement de l'informatique
 - ◆ Pédagogie
 - ◆ Didactique
 - Participer aux études internationales sur l'enseignement de l'informatique

Isabelle Debled-Rennesson : Merci Jean-Marc. Donc pour étudier cette transversalité qui va de l'école primaire jusqu'au supérieur, on a un projet, c'est le projet de construction de la Commission française pour l'enseignement de l'informatique, en se basant sur le modèle des mathématiques : la CFEM existe donc on aimerait construire la CFEI, qui regrouperait les organisations françaises impliquées dans l'enseignement de l'informatique — j'en ai indiqué quelques-unes (SPECIF Campus, AEIF, EPI, IREMI...), il y en aurait beaucoup plus — s'intéressant au premier, au second degré et au supérieur. Cette commission permettrait de répondre aux questions posées à l'enseignement de l'informatique autour de la pédagogie, de la didactique, comme cela a déjà été évoqué, et aussi de participer aux études internationales sur l'enseignement de l'informatique avec une vue transversale. C'est un de nos projets, qu'on espère réaliser à plus ou moins long terme.

Je vais conclure avec quelques thèmes de réflexion qui animent notre groupe de travail depuis déjà quelque temps, quelques années même, en effet, le premier thème, « Comment favoriser l'orientation des filles vers les formations à l'informatique ? », est une question qui revient à chaque réunion et, pour l'instant, on cherche ... Ce sujet sera abordé dans la table ronde.

Un deuxième thème qui a émergé un peu plus récemment, suite aux écoles privées qui fleurissent et qui ouvrent des formations à l'informatique très rapides : on a envie de travailler et de générer un document sur ce sujet : « Que doit comporter a minima une formation à l'informatique et à quoi peut-on vraiment se former en trois mois ? »

Je terminerai avec le dernier thème de réflexion, qui sera le sujet de la table ronde qui va suivre : « Quelle culture informatique pour toutes et tous ? Quel contenu ? Comment fait-on ? »



Table ronde sur une culture générale en informatique

Isabelle Debled-Rennesson¹, Fabien Tarissan²

Les organisateurs du congrès des 10 ans de la SIF ont souhaité prendre un moment pour faire réfléchir la communauté sur le futur de l'enseignement de l'informatique avec une table ronde animée par Isabelle Debled-Rennesson, vice-présidente enseignement de la SIF, et Fabien Tarissan, ancien vice-président médiation de notre association. Les intervenants sont : Gilles Dowek, chercheur INRIA et professeur attaché à l'ENS Paris-Saclay, Chantal Morley, professeure émérite à l'institut Mines-Télécom, Business School, Laurane Poulain, déléguée au numérique responsable chez Numeum, Françoise Tort, maîtresse de conférences en didactique de l'informatique à l'ENS Paris-Saclay et Frédéric Urbain, porte-parole de Framasoft.

SIF (Fabien Tarissan) : « *Le congrès de la SIF de 2022 est l'occasion d'organiser une table ronde autour du thème de la « culture informatique pour tous et toutes ». Le but est de s'interroger collectivement sur les éléments qui amènent à promouvoir une culture générale en informatique pour tous et toutes, de déterminer quel pourrait être le contenu de cette culture générale, et d'essayer d'identifier les moyens dont nous disposons pour dispenser cette culture.*

Pour ça, nous avons réuni différents acteurs pour discuter de ce sujet. Il est assez naturel de commencer par donner la parole à Gilles Dowek, directeur de recherche INRIA et professeur attaché à l'ENS Paris-Saclay car, concernant l'enseignement de l'informatique, Gilles a été de tous les combats. D'ailleurs en 2019, Gilles avait

1. Professeure des universités, université de Lorraine, VP enseignement de la SIF.

2. Enseignant-chercheur, ENS Paris-Saclay, ancien VP médiation de la SIF.

donné une conférence dans laquelle, déjà, il faisait un bilan des éléments nécessaires : des élèves, un programme (ce qui était l'enjeu en 2019), mais aussi un corps enseignant formé (avec un DIU qui se mettait en place, un CAPES qui était promis, etc...). Entre-temps, les choses ont évolué. Gilles, quel regard portes-tu aujourd'hui sur ces éléments nécessaires pour enseigner l'informatique ? »

Gilles Dowek : J'ai une théorie mais vous pouvez la partager si vous voulez : il faut quatre ingrédients pour enseigner quelque chose. Il faut bien entendu des apprenants, il faut des enseignants, il faut quelque chose à enseigner — des connaissances, des savoirs-faire, un contenu — et puis il faut des heures pour le faire. Ce sont les quatre ingrédients, et quand il n'y en a que trois sur les quatre, en général, ça marche pas.

Effectivement, depuis longtemps on sait qu'on a les apprenants, et on les a dans deux situations : quand les cours sont obligatoires, on les a, et quand les cours sont au choix, on s'aperçoit qu'il y a quand même un grand nombre, par exemple au lycée, de lycéens qui choisissent d'apprendre l'informatique, c'est une discipline qui attire un certain nombre d'élèves. On n'attire pas tous les élèves, on n'attire pas les élèves de manière uniforme, mais on attire, globalement, un certain nombre d'élèves. On peut mieux faire mais globalement, ce n'est pas là qu'est le problème.

En ce qui concerne les contenus, on peut dire qu'on les a à peu près, ça a été l'objet, dans les dix dernières années, d'après discussions, mais on a fini par trouver des équilibres. Les curricula sont à peu près là, on peut toujours les améliorer, bien entendu, mais enfin, en gros, on est à peu près d'accord sur ce qu'il faut enseigner et acquérir. Les deux points les plus critiques, c'est les enseignants et les heures.

Pour les enseignants, on peut dire qu'on est très loin du compte, puisque malgré les efforts qui ont été faits — on a cité le DIU, le CAPES, l'agrégation — on est encore à un ordre de grandeur en dessous de ce dont on a besoin. Si on ajoute le nombre de collèges et le nombre de lycées, on obtient à peu près dix mille, et si on divise ça par le nombre de postes à l'agrégation, qui est vingt, vous voyez le nombre d'années qu'il faut pour qu'il y ait un agrégé dans chaque collège et dans chaque lycée. Ça veut dire qu'il faut penser que ces formations, qui sont encore aujourd'hui dans un état un peu expérimental, doivent vraiment changer d'échelle. Ça, c'est un des chantiers pour les années à venir, et pour que ces formations passent à l'échelle, il faut, en amont, former plus d'étudiants en licence, en master, etc., puisqu'il ne suffit pas de mettre un million de places au CAPES si on a pas un million de candidats. Il arrive, m'a-t-on dit, que pour certains CAPES, il y ait plus de places que d'admissibles.

Un point qui est très hétérogène, c'est la question des heures, des horaires, puisqu'on voit que quand il s'agit de former des spécialistes, c'est-à-dire des élèves qui font le choix d'apprendre l'informatique, on a les heures, en NSI au lycée, par exemple. On avait les heures en ISN : NSI, c'est beaucoup mieux, mais on s'aperçoit que c'est beaucoup plus compliqué pour les enseignements obligatoires. Il y a un petit progrès qui est fait en seconde avec SNT, mais si on regarde ce qu'il se passe

au collège, les heures, en gros, ne sont pas là, il y a pas, dans l'emploi du temps des collégiens, d'heures d'informatique. À l'école primaire, le problème se pose un peu différemment puisqu'il y a pas d'emploi du temps avec des heures allouées à chaque discipline, mais on peut dire aussi qu'il y a pas l'investissement suffisant des professeurs des écoles dans l'enseignement de l'informatique. Ici, la question qui se pose, c'est : comment faire évoluer cela dans les dix ans à venir ? Je crois qu'il faut écouter ce que disait Pierre Mathiot, un des inspirateurs de la réforme du bac, à la radio sur France Inter, dans la matinale, il y a une semaine à peu près... Je n'ai pas la référence exacte mais je pense que je pourrais la trouver si vous me demandiez de la chercher : il disait qu'il y avait un problème avec la terminale S, à l'époque où il y avait une terminale S, qui était qu'il y avait un grand nombre de lycéens, qui faisaient des maths alors qu'ils ne se destinaient pas à faire des études scientifiques. Je pense qu'il faut écouter ça parce que le vrai problème, c'est que Pierre Mathiot pense ça, c'est-à-dire qu'il pense que c'est utile de faire des maths si, et seulement si on souhaite faire des études scientifiques après. Je peux pas prêter des propos à Pierre Mathiot qu'il n'a pas tenus, mais on pourrait penser que, vraisemblablement, il pense la même chose pour la physique ou pour l'informatique, en particulier pour l'informatique. Donc cette idée que l'informatique, c'est quelque chose qu'on doit enseigner à toutes et tous, c'est-à-dire pas uniquement aux élèves qui font le choix d'apprendre l'informatique, c'est une idée qu'il va falloir se battre pour imposer au collège et à l'école, puisque c'est là, en particulier au collège, où on a encore tous les élèves, avant qu'ils ne se dispersent dans une myriade de formations qui, heureusement, sont plus basées sur le choix des élèves que sur un tronc commun. Il faut faire comprendre à nos interlocuteurs dans les ministères, mais pas uniquement, par exemple à des journalistes, que les sous-citoyens que nous formons à l'école en leur donnant une culture exclusivement littéraire, sans aucune science, après la seconde, ne comprendront rien ni au réchauffement climatique, ni aux vaccins, ni à la question des données personnelles, ni à la question des logiciels libres, ni à la question de la souveraineté numérique, ni à la question de la sécurité informatique, etc., donc sur toutes les questions qu'ils vont se poser au XXI^e siècle, au troisième millénaire, eh bien ces citoyens ne seront pas en capacité de décider, de choisir, et ils auront tendance à croire Donald Trump, pour qui, s'il fait froid pendant une semaine, c'est une réfutation du réchauffement climatique, ou *x* ou *y* pour qui, s'il fait chaud pendant une semaine, c'est une confirmation du réchauffement climatique. Donc il serait bien que ces gens comprennent, y compris Donald Trump, que la question du réchauffement climatique est une question statistique, et qu'un point dans une statistique n'influence pas la moyenne de manière très significative. Ce qui est vrai pour le climat est vrai pour les vaccins. Moi aussi, la belle-sœur du cousin de ma belle-sœur a été vaccinée et elle a eu des effets secondaires, donc ça, ça invalide la valeur des vaccins ? Et bien non ! Vous voyez, toute cette question de la pensée scientifique, la manière d'aborder des problèmes scientifiques... On s'aperçoit que même

Donald Trump, qui a dirigé la plus grande puissance du monde, ne maîtrise pas ces éléments scientifiques de base. Il faut vraiment réaffirmer aujourd'hui l'importance de la culture scientifique pour toutes et tous, et je crois qu'on peut pas le faire en se concentrant sur l'informatique. Je pense, bien entendu, que la culture informatique est ce qu'il y a de plus important dans la culture scientifique, mais je pense qu'on ne pourra pas développer cette thématique seuls, et donc c'est une thématique qu'il faut développer avec les autres sociétés savantes, et il faut qu'il y ait un travail collectif avec les mathématiciens, les physiciens, les biologistes, peut-être aussi avec les chercheurs en sciences humaines, je sais pas si ça peut être des partenaires dans ces combats ou s'ils préféreront ne pas s'y associer, mais enfin c'est eux que ça regarde. Nous, il faut que nous soyons ouverts à des coopérations avec tous les scientifiques pour faire avancer cette idée d'une culture scientifique, qui est sans doute un pré-requis pour obtenir des heures et des enseignants au collège et à l'école primaire.

Donc il me semble que si on veut essayer de se projeter dans les dix ans qui viennent, c'est le premier combat qu'on doit considérer. Bien entendu, on peut pas porter un combat sur la culture scientifique en général, il faut avoir des objectifs concrets qui incarnent ce combat, et il me semble qu'un premier combat qui est relativement facile à mener, parce que c'est un sujet sur lequel nous avons raison, et comme nous avons raison, même si nous sommes une toute petite minorité, nous finissons toujours par gagner... En 1971, quand l'EPI proposait la création de l'agrégation d'informatique, tout le monde les prenait pour des cinglés, à juste titre, mais cinquante ans plus tard, on a l'agrégation d'informatique, et donc il suffisait d'avoir raison et d'attendre cinquante ans : la raison finit toujours par vaincre ; si on a raison, on finit par arriver à convaincre les autres. Aujourd'hui, je crois qu'il y a un principe assez simple à proposer pour le lycée, c'est que le tronc commun du lycée, c'est-à-dire la partie qui est obligatoire, qui n'est pas élective, au lycée, qui représente quatorze heures hebdomadaires, et bien il faut qu'il soit équilibré entre les sciences et les humanités. Qu'est-ce que c'est qu'un tronc commun équilibré ? Nous avons la chance que quatorze soit un nombre pair, c'est-à-dire que nous pouvons faire la division de quatorze par deux, et dire : « *Nous aboutissons à un principe d'égalité entre les sciences et les humanités, qui serait sept heures pour les humanités et sept heures pour les sciences* ». Ce n'est pas un gros changement puisque aujourd'hui, on est à deux heures pour les sciences et douze heures pour les humanités, donc il suffit de changer l'allocation de cinq heures hebdomadaires, ce n'est pas la mer à boire, c'est quelque chose qu'on peut faire, et c'est une idée qui est simple : sept plus sept égal quatorze, je pense que tout le monde peut comprendre ça, même Donald Trump, et ainsi proposer un enseignement équilibré au lycée. Si on arrive, je pense, à gagner sur ce combat du lycée, à ce moment-là, ça sera beaucoup plus facile de dire : « *Si on a un enseignement équilibré au lycée, il faut la même chose au collège et à l'école* ».

SIF (Isabelle Debled-Rennesson) : « *Merci Gilles. Donnons maintenant la parole*

à Françoise Tort. Françoise, maîtresse de conférences en didactique de l'informatique à l'ENS Paris-Saclay. Comme Gilles, Françoise défend depuis très longtemps l'idée de l'apprentissage de la pensée informatique. Elle est notamment à l'origine du concours Castor, elle a participé à l'élaboration du programme d'informatique du lycée et elle concentre maintenant son effort sur PIX, qui est un dispositif dont on perçoit avant tout la certification de connaissances et compétences en informatique (et du numérique) mais qui offre aussi un support pour la formation.

Françoise, au regard de cette expérience et plus généralement de tes recherches en didactique, quel regard portes-tu sur cette nécessité d'une culture informatique pour tous et toutes ? Pourquoi ce besoin ? Que peut-on dire aujourd'hui des dispositifs qui permettent cet accès à une culture informatique ? »

Françoise Tort : En effet, comme on va le voir, il y a quelques éléments communs avec les propos de Gilles, parce qu'on a pas mal travaillé ensemble et qu'on s'est beaucoup rencontrés, mais je n'arrive peut-être pas tout à fait aux mêmes conclusions, donc je pense que ça va être intéressant.

Effectivement, j'ai beaucoup œuvré, notamment avec le concours Castor Informatique, co-créé avec INRIA et France IOI, à proposer une présentation ludique de l'informatique destinée aux enfants. Il s'agit de petits exercices interactifs en ligne avec lesquels jouent directement les enfants, et grâce auxquels ils découvrent un peu ce qu'est l'algorithmique, les réseaux, la programmation, etc. C'est une façon d'introduire ces concepts fondamentaux de l'informatique à l'école mais aussi dans les familles. Le concours Castor a connu dès le début et connaît toujours un grand succès. C'est un outil épatant pour faire manipuler des concepts en vérité très théoriques. Mais en fait, quand on demande aux gens ce qu'il y a dans le Castor, ils nous disent : « *C'est de la logique* » et ils ne font pas le lien avec leur quotidien. Alors, quelques années après, quand on m'a proposé de participer à la création de Pix, on voulait montrer ce que c'est que l'informatique, et plus largement que cela, ce qu'il faut savoir et savoir faire dans les usages quotidiens du numérique. Là, on s'est dit : « *Il faut qu'on montre à tout le monde ce que c'est que cette culture numérique* ». Pix est une plate-forme de service public, qu'il faut promouvoir auprès de différents publics, pour faire comprendre ses contenus. On a donc écrit un référentiel de compétences, inspiré du DigComp, et donc là, on a dit : « *Regardez, c'est ça. C'est ça qu'il faut savoir, savoir faire et comprendre en informatique pour y arriver au quotidien* » Alors, est-ce que ça a marché ? Je ne sais pas, c'est en cours. Est-ce qu'on y voit bien l'informatique qui est derrière ? En tout cas, on y travaille.

Pour revenir à la question de pourquoi il me semble très important d'introduire l'informatique auprès de tout le monde, je répondrais que : d'abord, parce qu'il y a ces multiples rencontres quotidiennes que les gens ont avec des outils et des applications, et je le vois sur les utilisateurs de Pix à l'occasion des panels, qui sont vécus comme des expériences positives parce qu'il y a de fortes affordances dans ces outils, qui font qu'on n'a pas besoin de vraiment comprendre comment ça marche pour que

ça marche. On a la sensation qu'on sait faire et que ça suffit. Ces rencontres positives sont sur du divertissement, de l'achat, sur des choses, quand on creuse un peu, qui comportent beaucoup d'enjeux cachés : les collectes de données, pourquoi on vous offre telle ou telle chose... Donc là, pour moi, le mot-clé de l'enjeu de la formation, c'est l'esprit critique : comment arriver à développer un esprit critique sur ces usages du quotidien.

Il y a un deuxième point de vue qui a l'air complètement contradictoire avec ce premier, c'est qu'il y a aussi beaucoup de déconvenues au quotidien dans les utilisations du numérique. Des gens qui se sentent démunis et, en fait, ressentent une forme de déclassement par rapport à l'usage des outils numériques, et je les rencontre aussi dans les panels Pix. Là, on n'est pas sur le divertissement ou l'achat, on est sur la dématérialisation des démarches administratives, et ça va jusqu'au renouvellement des processus au travail, dans les métiers. Là, selon moi, le mot-clé de l'enjeu de la formation, c'est regagner du pouvoir sur ses données et sur ses savoir-faire.

Et puis, en troisième point de vue, il y a aussi tout ce qui est incompréhension et, parfois même, désintérêt, pour les grands enjeux de demain, dont Gilles a très bien parlé, sur des sujets d'actualité galopante : l'intelligence artificielle, l'économie de l'attention, l'impact environnemental du numérique... Ce sont des questions qu'on essaye de traiter dans le référentiel de Pix et je vois bien que sur ces questions, il y a parfois de l'incompréhension ou du désintérêt de la part des personnes qui jouent nos exercices. « *Mais pourquoi vous mettez ces questions dans Pix ?* ».

Donc les mots-clés sont *esprit critique*, *regagner du pouvoir*, *anticiper demain*. Face à cela, pourquoi je me dis : « *La réponse est l'informatique ?* » C'est que si, personnellement, je ne me sens pas trop démunie sur ces sujets, c'est parce que j'ai compris comment ça fonctionne derrière, que j'ai ouvert le capot et regardé comment ça marche. Par contre, ouvrir le capot, comprendre comment ces outils fonctionnent, ça comporte au moins deux dimensions, et sur ce point, je trouve que mes collègues informaticiens ont tendance à trop mettre l'accent seulement sur une. Donc il y a l'algorithme, je suis d'accord, il faut apprendre à programmer, on a déjà bien avancé là-dessus. Mais il y a une autre dimension que sont les données, la massification des données, le traitement de la donnée, les traitements statistiques des données, je trouve qu'on ne se bat pas assez, côté informatique, sur ce terrain-là. Donc deux mots-clés pour les contenus : *programmer* et *traiter des données*. Et puis je dirais qu'il y a aussi un enjeu sociétal, autour de la production et la présentation de l'information, autour des médias, et de l'éducation aux médias. Cela existe déjà à l'école et on ne devrait pas l'ignorer quand on parle de formation à l'informatique. Donc là, pour moi, il y a trois choses qu'il faut qu'on arrive à associer : la discipline informatique, *computer science*, mais aussi l'éducation aux données, et puis l'éducation aux médias.

Pour finir, je vais vous proposer un peu les pistes, les solutions, que j'ai envie de creuser, et de manière assez concrète. Il y a deux grands enjeux : le premier, c'est au niveau du primaire, où il est très urgent d'accompagner les professeurs des écoles,

ceux qui le sont déjà, mais aussi les futurs professeurs. Selon moi, l'Éducation nationale passe trop de temps et d'énergie à sommer d'utiliser l'outil numérique dans la classe et à expliquer comment on doit utiliser son vidéo-projecteur, le tableau blanc interactif, les TICIE — les TC pour l'éducation — alors que la recherche en didactique a montré qu'on n'a pas de résultats fondamentaux sur le fait que ça améliore les apprentissages. Alors qu'il faudrait mettre des moyens pour former les professeurs des écoles à la programmation et aux données. Parce que ainsi, ils comprendront d'autant plus les savoirs « préalables » qu'il faut installer dans l'éducation au primaire sur ces questions. Et puis ils seront aussi utilisateurs d'outils et sauront choisir les bons outils à utiliser en classe.

Et la seconde piste, c'est celle de la donnée. Je pense que dès le collège et le lycée, il faut qu'on repose les questions de l'éducation aux données, en s'inspirant fortement des humanités numériques. C'est ce qui m'avait beaucoup inspirée quand j'avais présidé le groupe du Conseil supérieur des programmes, qui a proposé ICN, l'enseignement exploratoire de seconde. Idem quand on a fait ISN pour les classes de terminale de spécialité L et ES. Il y avait déjà les prémisses de cela, et cela a été balayé par une nouvelle proposition, NSI, qui, selon moi est une option de spécialistes. Donc mes deux idées-clés, là, c'est « formation des enseignants du primaire non pas aux TICE mais à la programmation et aux données », et « éducation aux données au lycée ».

SIF : *« Merci beaucoup Françoise pour ces pistes à suivre. Tournons nous maintenant vers Frédéric Urbain, porte-parole chez Framasoft qui est une association d'éducation populaire aux enjeux du numérique, bien connue de notre communauté et qui a longtemps eu pour objet la promotion du logiciel libre. Cela est toujours l'ADN de Framasoft bien sûr, mais ses missions vont maintenant au-delà.*

Frédéric, ta présence aujourd'hui est l'occasion de commenter cette évolution chez Framasoft et d'expliquer en quoi elle témoigne d'un besoin plus général d'une culture informatique pour toutes et tous, et évoquer aussi les solutions qui sont défendues par Framasoft pour y arriver. »

Frédéric Urbain : En effet, nous nous présentions comme une association de promotion du logiciel libre, c'est comme ça qu'on s'est fait connaître, avec un annuaire de logiciels libres qui a été très utilisé par les professeurs à une certaine époque parce qu'ils n'avaient pas de moyens pour avoir des logiciels, et le fait d'avoir un annuaire de logiciels gratuits, ça leur était très utile, et on s'est aperçu, au bout d'un moment, que le logiciel libre, c'était un fondamental, et ça reste un fondamental dans notre idée, mais ça ne suffit pas, c'est-à-dire qu'avec du logiciel libre, on peut faire des choses très sales : ça s'appelle de l'*open source* dans ce cas là. Donc l'important dans l'idée du logiciel libre, c'est l'éthique. D'ailleurs, je n'ai pas beaucoup entendu le mot aujourd'hui, depuis ce matin que je suis là, je n'ai pas beaucoup entendu le mot « éthique ». J'ai entendu parler des données, de l'utilisation des données, mais

ce qui est primordial dans le logiciel, c'est ce qu'on en fait, la façon dont on s'en sert ; ce qui est primordial dans les données, c'est d'abord quelles données on collecte et ce qu'on en fait, et derrière tout ça, il y a un mot qui est commun, c'est le mot « éthique ». Et puis on s'est aussi rendu compte qu'au final, tout ça avait une dimension très politique parce que le logiciel façonne la manière — « *Code is law* » comme disait Lawrence Lessig — dont le logiciel est écrit, la façon dont l'algorithme — ce n'est pas à vous que je vais l'apprendre — va façonner les choses autour de la personne qui va utiliser ce logiciel et cet algorithme. Un exemple très simple : si vous postulez pour une offre d'emploi et qu'à un moment, dans le formulaire, on vous demande si vous êtes un homme ou une femme, déjà, est-ce que la réponse est obligatoire ? Est-ce que vous pouvez éviter la question et quand même postuler ? Deuxièmement, comment va être utilisée cette donnée ? Est-ce que si vous dites que vous êtes une femme, par exemple, vous allez avoir un algorithme qui va faire de la discrimination positive et qui va faire monter votre CV dans la liste, ou qu'au contraire, vous allez tomber sur une IA, qui va être formée de façon super sexiste et qui va écarter les candidatures féminines ? Vous ne savez pas, et vous avez peut-être envie que dans la case, vous puissiez aussi dire : « Autre », ou « *N'a pas envie de se prononcer* », des choses comme cela. Voilà, la façon dont les choses sont écrites, dont le logiciel est écrit va influencer la façon dont les données vont être perçues et utilisées, donc prenant conscience de ça, nous avons reformulé l'objet de l'association et, désormais, nous disons que nous sommes une association populaire d'éducation aux enjeux du numérique et des communs culturels, c'est-à-dire que c'est bien joli de dire aux gens : « *N'utilisez pas du Microsoft, utilisez plutôt du LibreOffice* », ce genre de choses, mais qu'est-ce qu'il y a derrière ? Pourquoi est-ce qu'on leur dit ça ? C'est ça, la question. Donc l'association a travaillé sur le sujet, elle a lancé, suite aux révélations d'Edward Snowden sur la surveillance généralisée, la campagne « *Dégooglisons Internet* », et ça, ça a été une de nos grandes forces, c'est-à-dire de travailler par l'exemple et de dire : « *OK, les GAFAM vous fournissent des services qui sont jolis, qui sont gratuits, qui fonctionnent, mais demandez-vous ce qu'il y a derrière, et nous, on peut vous fournir les mêmes services, qui fonctionnent quasiment aussi bien — parce qu'on a pas le budget de Microsoft — qui sont sans pub, qui sont sans arrière-pensée, et qui vous permettent de faire les mêmes choses* ». Avec des trucs rigolos comme « *Facebook is watching you* » : on aime pas se prendre au sérieux chez Framasoft donc on a fait ça de façon un peu rigolote, et, manifestement, ça a parlé aux gens. Je ne dirais pas qu'on a inventé le RGPD, je n'irais pas jusque-là, mais, en tout cas, on voit bien que la population commence à se méfier des choses qui sont trop belles pour être vraies, des logiciels gratuits, des services gratuits sur Internet, on commence à réfléchir à ça mais on est très loin encore d'avoir exploré toutes ces idées-là : il y a encore des tas de gens, quand ils ont besoin d'une adresse mail qui vont sur Gmail de façon quasi-automatique ; il y a encore des tas de gens qui utilisent Facebook pour s'informer, par exemple. Et donc la question centrale derrière tout ça,

c'est l'éthique, c'est : « *Qu'est-ce qu'on va faire de ces logiciels ? De quelle façon ils vont être utilisés ?* », et donc nous, on a pris le parti de l'éducation populaire.

Alors, j'ai noté que la SIF parlait avec le ministère de l'Éducation nationale : nous, on a arrêté, clairement, on ne parle pas le même langage, on ne s'entend pas, ça ne fonctionne pas entre le ministère et nous. Autant on a une base de professeurs qui nous aime beaucoup et qui nous soutient énormément, autant dès qu'on arrive au ministère, ça ne marche plus, donc on a arrêté, on a fait un article un peu tonitruant en disant : « *Nous n'irons plus prendre le thé au ministère de l'Éducation nationale* ». C'est pareil, on a arrêté de signer des tribunes et de publier des lettres ouvertes parce qu'on a le sentiment que, dans notre partie en tout cas, ce n'est pas efficace.

Du coup, on s'exprime par l'exemple, on fait les choses, parfois on se trompe mais, en tout cas, on fait des choses, on produit du logiciel. Alors, c'était pas dans notre feuille de route à l'origine mais on produit du code, on produit un logiciel qui s'appelle Mobilizon, qui permet d'organiser des événements sans pister les gens, par exemple. On fait des choses comme ça et puis on a des idées pour aller plus loin : on fait ce qu'on appelle de l'archipélisation, c'est-à-dire qu'on s'est rendu compte que, d'abord, c'était plus facile de parler à des organismes qu'à monsieur ou madame, parce que quand vous vous déplacez pour faire une conférence, qu'il y a vingt personnes dans la salle, vous allez peut-être convaincre les vingt si vous avez beaucoup de chance, mais c'est vingt personnes, alors que s'il y a vingt présidents d'associations dans la salle, tout de suite, l'impact de la conférence va être très différent, et donc on a commencé à s'intéresser principalement aux associations, mais pas que, qui font, comme nous, du travail pour faire avancer la société, et on s'est rendu compte qu'on ne pouvait pas être d'accord avec tout le monde, que parfois, on avait des points communs avec ces associations, et que parfois, on avait des points de divergence, mais l'important, c'était qu'on arrive pour leur fournir des outils informatiques, éthiques, qui leur permettent de travailler et de remplir les missions qu'elles se sont données. On est tombés sur des choses complètement surprenantes, par exemple des associations écologistes dont les membres ont tous le dernier iPhone, des choses comme ça, des associations de militants politiques, des syndicats, qui discutent uniquement sur Gmail, et donc on leur a expliqué quels enjeux il y avait derrière, et on continue de leur expliquer, et même si on n'est pas toujours d'accord avec ce qu'ils sont... Par exemple, on a aidé la fédération des motards en colère à se « dégoogliser », c'est-à-dire à avoir un serveur commun, à avoir des mails, des choses « propres » mais c'est quand même des gens qui utilisent des engins à moteur super polluants. C'est pas grave, en tout cas, on leur a rendu service sur la partie informatique. C'est ça, la mission qu'on se donne, c'est de faire de l'éducation populaire aux gens.

Alors, quel est le modèle économique de Framasoft ? C'est le don, tout simplement, c'est-à-dire qu'il y a très longtemps, quand Framasoft a démarré, sur l'annuaire

de logiciels libres, il y avait des pubs, qui étaient — je vous le donne en mille — fournies par Google, et donc on a dit, comme disent les anglophones : « *On va manger la pâtée de notre chien : si on dit que c'est pas bien de mettre de la pub, que c'est une agression, machin, on va l'enlever* ». Donc on a enlevé toute forme de publicité sur nos sites et on fait des appels aux dons, on fait des campagnes de don et ça marche bien. On a de la chance parce que les gens qui nous aiment bien sont, en général, des gens qui travaillent dans l'informatique et qui gagnent bien leur vie, donc ça facilite un peu la main à la poche. Aujourd'hui, Framasoft a un budget qui tourne autour de 500 000 € par an. Framasoft a une dizaine de salariés, ça permet largement de faire tourner l'association, et tout ça vient des dons des gens. Alors, on a des dons de certains organismes : la fédération pour le progrès de l'homme, la Ligue des droits de l'homme, nous donnent un peu d'argent ; de temps en temps, on installe un serveur chez quelqu'un qui nous l'a demandé et on fait payer la prestation ; de temps en temps, on vend un t-shirt, mais ça n'est vraiment pas le cœur du fonctionnement de l'association, 95 % de nos revenus sont constitués par le don, et on se dit que c'est un excellent baromètre parce qu'évidemment, si vous êtes financés par les dons et qu'à un moment, vous faites des bêtises, ça se voit tout de suite, les gens arrêtent de donner, mais jusqu'à maintenant — je touche du bois — on a eu la chance que les gens nous suivent et n'arrêtent pas de donner.

On a une feuille de route, on va d'ailleurs en dévoiler une nouvelle cette année parce qu'on fonctionne par plans triennaux, et en termes de solutions, on a initié un programme qui s'appelle Collectif des hébergeurs alternatifs, transparents, ouverts, neutres et solidaires (CHATONS) — on est très fort sur les sigles — et c'était parce qu'on commençait à en parler un peu dans les conférences et, à chaque fois, on avait une personne qui se présentait à la fin, généralement un barbu, qui disait : « *J'aimerais bien faire comme vous, proposer des services en ligne avec une certaine éthique* », et on s'est rendu compte qu'il y avait pas mal de gens qui avaient envie de faire ça, des gens du métier, de l'informatique, qui avaient envie de proposer du mail à la famille, à l'association, à leur quartier, à leur syndicat, à leur commune, et donc on a monté ce collectif des hébergeurs. Alors, on est à l'initiative de ce collectif, on n'est pas le chef des CHATONS, on est qu'un chaton qui miaule un peu plus que les autres, et aujourd'hui, on a dépassé les cent hébergeurs alternatifs, un peu partout en France et même un peu en Europe, qui sont des gens qui fournissent du service à base de logiciels libres et à base d'éthique sans publicité, en disant ce qu'ils font, en étant transparents, et qui font d'ailleurs aussi de l'information. Cela a produit aussi un MOOC CHATONS, qui explique aux gens comment on peut à son tour produire du service. Alors, ce n'est pas destiné à tout un chacun, moi, je ne saurais pas le faire, par exemple, mais il n'empêche qu'il y a beaucoup de gens qui s'y intéressent.

Nous travaillons déjà à une nouvelle idée... On a déjà le sigle mais c'est un squelette d'idées pour l'instant : c'est l'Université populaire du libre, le sigle sera UPLOAD, mais il n'y a pas encore tellement de chair autour du squelette, on est en

train de travailler collaborativement avec d'autres associations, et l'idée, c'est justement de faire ça, de faire de l'information populaire et pas forcément sur les jeunes, plutôt sur les adultes, parce qu'on sent bien qu'il y a un gros besoin. On n'a pas parlé d'illectronisme aujourd'hui, parce que le mot n'est pas joli, en plus, mais on sent bien qu'il y a un énorme besoin, non seulement, pour les gens de comprendre comment ça marche, mais aussi de comprendre ce qu'il y a derrière, quelles sont les intentions derrière. Ce matin, j'ai entendu parler de machines à voter : pourquoi ce n'est pas forcément une bonne idée, les machines à voter, pour la démocratie ? On est en train de vivre une accélération extraordinaire du numérique dans la société et on laisse des gens sur le bord de la route, qui ne comprennent pas comment ça marche, et c'est même pire que ça parce que tous ces gens-là, ils se font aider, ils trouvent des solutions de contournement qui ne sont pas forcément les bonnes, c'est-à-dire qu'ils vont aller voir un copain ou un enfant en disant : « *j'ai besoin d'une adresse mail pour écrire aux impôts* », et la personne en question va les diriger sur Gmail sans rien leur expliquer du tout et ça va être une catastrophe, alors on travaille beaucoup sur ces sujets-là.

SIF : « Merci beaucoup Frédéric, des solutions doivent effectivement être proposées face à l'illectronisme et Framasoft y contribue. Tourignons nous maintenant vers Lauranne Poulain, déléguée au numérique responsable chez Numeum et qui va nous permettre d'aborder le thème de cette table ronde à travers le prisme des entreprises. Lauranne, quels sont les besoins identifiés par Numeum en termes de culture informatique pour le monde de l'entreprise ? D'autre part, le numérique responsable étant au cœur des centres d'intérêt de la SIF, quel bilan peut-on tirer aujourd'hui de l'initiative Planet Tech'Care, portée par Numeum et qui vise à accompagner à la fois les entreprises du numérique éco-responsables et également les formations du numérique sur ces sujets ? »

Lauranne Poulain : Merci beaucoup. Je suis déléguée au numérique responsable chez Numeum, et je travaille le conseil d'administration de Numeum sur ce sujet. Peut-être un mot de présentation. Numeum est une organisation issue de la fusion entre deux organisations professionnelles, TECH IN France et Syntec Numérique. Aujourd'hui, Numeum est la plus grosse organisation professionnelle du secteur numérique, qui fédère environ deux mille cinq cents entreprises, qui représentent 80 % environ du chiffre d'affaires du secteur. Effectivement, dans ces débats-là, ce qu'il est intéressant de voir, c'est le point de vue des entreprises, qui héritent un peu de la problématique et des enjeux qu'on soulève depuis tout à l'heure, avec la résultante de cette culture ou non-culture scientifique. Chez Numeum, nous avons un message central, c'est celui des compétences. Il faut prendre conscience du fait qu'alors que le secteur numérique qui est très pourvoyeur d'emplois (4 600 créations de postes en 2020 dans un contexte de crise sanitaire), il est un des secteurs qui fait face à une des grosses pénuries de main d'œuvre. On le disait, il manque dix mille ingénieurs

par an. Une autre étude publiée récemment par le réseau LinkedIn, a recensé auprès des entreprises les besoins en compétences : sur les dix plus grandes compétences recherchées et donc en pénurie, cinq sont liées au numérique.

Face à ce constat, au sein de Numeum, on se pose deux séries de questions : « *Comment peut-on agir sur ces compétences-là avec notre prisme entreprise ?* » et « *Quelle culture numérique veut-on transmettre et comment intègre-t-on les nouveaux enjeux dans cette culture scientifique numérique ?* ». Sur la première question, sur les compétences numériques en général, on agit par plusieurs moyens. Notre programme Numérique responsable, est l'acculturation aux usages numérique et la lutte contre l'illectronisme. Une autre idée sur laquelle nous agissons est l'inclusion du numérique dans la certification des compétences de base avec la création d'un CléA numérique, et donc la possibilité d'intégrer le numérique dans les formations de base « lire, écrire, compter ». Enfin, nous travaillons également sur la question de la reconversion : nos entreprises ont bien conscience qu'au-delà des moyens mis en œuvre dans l'enseignement des mathématiques et des sciences informatiques, il faut avancer à très court terme sur la reconversion des talents. Et cela marche mais c'est difficile : on ne peut pas devenir spécialiste du numérique en trois mois. La clé, selon nous, c'est d'intégrer les entreprises tout au long de la formation. Nous avons un pilote, depuis 2015, en région Grand Est, en partenariat avec Pôle emploi, et les entreprises du secteur numérique. Ce dispositif, Numeric Emploi, permet de former environ cinq cents personnes par an, avec un taux de suivi des formations de 90 % et un taux d'insertion dans l'emploi de 80 %.

Sur la seconde question, à savoir « *quelle culture numérique souhaitons nous transmettre ?* », il y a eu une évolution importante avec notamment l'intégration des enjeux sociétaux et environnementaux dans la formation au numérique. Nos adhérents ont cette problématique au centre de leurs préoccupations. Pour accompagner cette transition, nous avons créé une initiative qu'on a appelée Planet Tech'Care, en mettant autour de la table nos partenaires historiques, dont la SIF. Cette initiative, réunissait à son lancement en octobre 2020 cent signataires et dix partenaires, et compte aujourd'hui, près de 1000 signataires, avec 50 partenaires. C'est un programme gratuit, qui permet de sensibiliser aux enjeux d'un numérique éco-responsable (sobriété des éco-conceptions des services numériques, les technologies numériques, la mesure de l'impact environnemental du numérique...).

SIF : « Merci beaucoup pour cet éclairage du monde socio-économique qui intéresse beaucoup la SIF. Il est clair que nous avons des perspectives de travail en commun à travers l'émergence de projets, notamment autour des formations, où il y a de réels besoins.

Terminons cette table-ronde avec Chantal Morley, professeure émérite à l'Institut Mines-Télécom et qui travaille sur les problématiques de genre. Sa recherche porte

sur les causes du retrait des femmes dans les métiers du numérique, ce qui nous permet d'aborder la question de l'inclusion formations professionnelles. Chantal, il y a cinquante ans, le nombre et la proportion de femmes dans les métiers de l'informatique étaient tout autres qu'ils ne le sont aujourd'hui : que sait-on aujourd'hui des causes de cette inversion de tendance ? Quand a-t-elle commencé ? Quelles solutions peut-on envisager pour enrayer cette tendance à la descente du nombre de femmes dans les milieux de l'informatique et du numérique ? »

Chantal Morley : Merci Isabelle. Je vais aborder la question du déséquilibre femmes-hommes dans les métiers du numérique en partant du constat suivant : depuis plus de trente ans, il y a eu un nombre important d'actions pour augmenter le pourcentage de femmes dans l'informatique, ainsi que des recherches pour étudier le phénomène, mais le succès est limité. Bien sûr, si l'on n'avait rien fait, peut-être n'aurait-on que 5 % de femmes au lieu des 17 % actuellement (en France). On peut donc se demander « *Pourquoi toutes ces actions n'inversent-elles pas la tendance à la sous-représentation des femmes ?* » et « *Pourquoi les recherches sur les femmes dans l'informatique n'ont-elles pas plus d'effet ?* ». Je vais d'abord évoquer des actions visant à réduire la sous-représentation des femmes pour mettre en évidence certaines caractéristiques pouvant expliquer la faible efficacité de ces acteurs, et je parlerai ensuite des recherches sur le sujet.

Les actions visant à réduire le déséquilibre femme-homme dans l'informatique ne mentionnent généralement pas sur quelles hypothèses elles reposent, mais on peut souvent discerner des hypothèses implicites. Par exemple, sur certains sites d'entreprises, de sociétés de conseil, d'écoles d'ingénieurs ou d'associations³, on peut trouver des injonctions telles que : « *les femmes devraient oser se lancer dans la nouveauté* » ; « *beaucoup de gens ne se rendent même pas compte de tout ce que recèle l'informatique* » ; « *il faut déconstruire les préjugés dès le plus jeune âge* » ; « *il faut valoriser les rôles-modèles* » ; il faut « *sensibiliser aux comportements sexistes et sanctionner tous les types d'agression* » ; il faut « *augmenter les salaires, adapter les parcours de carrière et les avantages sociaux de manière paritaire mais surtout équitable* » ; « *les possibilités sont nombreuses pour les femmes, notamment dans le management d'équipe, celles-ci savent d'ailleurs comment utiliser leurs différences afin d'offrir une plus-value à l'entreprise qui les emploie* »...

On peut certes dire qu'il faut valoriser les rôles modèles, mais on peut remarquer que peu de sites mentionnent des femmes ayant apporté une contribution majeure depuis plus de cinquante ans. Par ailleurs, aucune étude ne montre que les comportements sexistes ou discriminatoires seraient plus importants dans les métiers du numérique que dans d'autres domaines professionnels où les femmes font néanmoins le choix d'entrer. Enfin, évoquer une « différence » que les femmes pourraient apporter, suggère qu'un apport de compétences similaires à ce que les hommes apportent

3. Toutes les phrases citées ont été trouvées début juin 2022 sur différents sites.

déjà ne serait pas particulièrement intéressant pour les entreprises. En fait, beaucoup de ces discours sont implicitement basés sur l'idée que les femmes méconnaissent les métiers du numérique, en ont peur ou se dévalorisent elles-mêmes, ou encore sur la potentielle différence des femmes dans l'exercice de ces métiers.

Dans les événements organisés, on peut repérer des discours similaires. Par exemple, lors de la conférence internationale *European Women in Tech 2022*, parmi les ateliers proposés aux participantes, on trouve : « Oser prendre des risques », « Sortir de sa zone de confort », « Gérer le syndrome de l'imposteur »... Ces injonctions suggèrent que si les femmes ne sont pas prises par la main, poussées, stimulées, elles continueront à rester en retrait. C'est donc à elles de faire des efforts. Par ailleurs, *European Women in Tech 2022* a proposé « des modèles et des femmes inspirantes ». Or, au lieu de puiser dans le stock des femmes dans l'IT, on trouve parmi les premières qui sont listées : une femme maire en Afghanistan, la présidente du Kosovo, une membre de la famille royale des Émirats arabes unis qui est aviatrice, une danseuse championne d'athlétisme... On peut douter que ces modèles soient une source de motivation pour se lancer dans l'informatique. La mission de cette organisation, *Women in Tech*, est de « renforcer les compétences et la confiance, afin de favoriser la réussite des femmes »⁴ Le but est louable, mais on peut remarquer que tout repose sur le changement des femmes. Ainsi le problème de la sous-représentation viendrait du comportement des femmes qui devrait être modifié.

Or, l'histoire nous dit autre chose. En 1984, seul un médecin sur quatre était une femme (26 %), et aujourd'hui, il y a quasi-parité chez les généralistes. En 1968, la magistrature ne comptait que 20 % de femmes, la parité a été atteinte en 1992 et aujourd'hui il y en a 60 %. On a pu observer des phénomènes similaires en pharmacie, en chimie et en biologie... et il faut rappeler que la sélection en médecine est basée sur les mathématiques et que le droit mobilise logique, rigueur, rationalité. Pour tous ces domaines (où certains hommes par le passé ont lutté contre l'arrivée des femmes), il n'a pas été nécessaire de prendre des mesures pour attirer les femmes. De même, jusque dans les années 1980, les femmes se sont largement orientées vers les métiers de l'informatique. On peut aussi rappeler les comparaisons avec d'autres pays. Dans un rapport de l'Unesco sur la part des chercheurs et chercheuses dans le monde, paru en 2015, avec un chapitre particulier sur les sciences et l'ingénierie⁵, on peut noter de grandes disparités. Dans certains pays à revenu élevé, la proportion de chercheuses est faible (Allemagne, France, Pays-Bas par ex.) ou très faible (Japon par ex.), alors que la parité est atteinte voire dépassée dans des pays d'Asie (Malaisie, Philippines, Thaïlande) ou d'Amérique latine (Bolivie, Venezuela). Selon un

4. <https://women-in-tech.org/who-are-we>.

5. Sophia Huyer, « Vers une diminution des disparités hommes-femmes dans la science et l'ingénierie? », <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246417>.

autre rapport de l'Unesco de 2021⁶, la proportion de femmes diplômées du supérieur en TIC est également très différente selon les pays. Par exemple, le Kirghizistan, la Malaisie et la Thaïlande atteignent presque la parité, et en Birmanie, Tunisie ou à Oman la proportion de diplômées en TIC dépasse 55 %. À l'inverse, en France, en Belgique, en Autriche, en Espagne, en Italie, en Hongrie, en Thaïlande ou au Brésil, ce pourcentage est nettement en dessous de 20 %. Il serait très intéressant de mieux comprendre cette diversité (culture, politique publique, image du domaine...).

Revenons aux actions pour améliorer la proportion de femmes dans les métiers du numérique. On y constate une large absence d'évaluation. Par exemple, le *Grace Hopper Celebration*⁷ est un événement annuel qui a probablement des effets positifs pour les femmes qui y participent, mais les responsables de l'événement ne semblent pas poser la question plus large de son impact : sa réussite est mesurée par le nombre de participantes, leur satisfaction et les sponsors. Autre exemple, l'École polytechnique de Lausanne, organise depuis plus de 20 ans des actions de promotion des métiers d'ingénierie après des jeunes filles et d'initiation à l'informatique (la 2 500^e participante a été fêtée en 2016⁸), mais on ne voit pas d'indicateur montrant les effets de ces actions sur le choix d'une filière informatique par des étudiantes.

En ce qui concerne les recherches sur le déséquilibre femme-homme, on connaît certaines choses, par exemple ces universités aux USA ou en Finlande qui ont réussi à obtenir la parité de façon durable (plus de dix ans) dans les filières informatiques. La recherche montre que dans tous ces cas il y a eu un véritable programme d'inclusion et qu'il y a toujours des dispositifs et des actions dans ce sens⁹. Mais les recherches pour expliquer les disparités entre les pays sont restreintes. De même, on sait peu de choses sur ce qui se passe dans le monde du logiciel libre depuis l'étude (limitée) de l'UE parue en 2006, si ce n'est qu'il n'y a que 2 % de codeuses¹⁰. En ce qui concerne l'histoire de l'informatique, beaucoup reste à découvrir. En Grande-Bretagne, il y a eu des travaux sur certains mécanismes d'éviction des « codeuses » dans le secteur public, et aux États-Unis un travail considérable a été mené pour retrouver la mémoire et la place des informaticiennes depuis les années 1940. En revanche, pour la France, on connaît peu de choses : que s'est-il passé dans les décennies 1980-1990 ? À l'époque, la question femmes-hommes était un non-problème puisque le pourcentage de femmes allait croissant. On a quelques éléments expliquant ce décrochage, mais peu de travaux d'historiens.

Dans les recherches sur la sous-représentation des femmes, la formulation du problème en termes d'inclusion et de mixité est peu répandue. Beaucoup de recherches

6. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375429_fre.

7. <https://ghc.anitab.org>.

8. <https://funweb.epfl.ch/fr/accueil-fr/internet-code-pour-les-filles>.

9. <https://doi.org/10.3917/cdgc.062.0183>.

10. <https://flosspols.org/communaute-open-source-tout-savoir-sur-lapproche-genre-et-les-prejuges>.

sont basées sur une différence ou sur des caractéristiques spécifiques aux femmes dans la pratique des métiers du numérique. De plus on peut observer une occultation des résultats qui ne montrent pas de différences. J'ai fait il y a quelques années l'étude d'une revue de rang A en systèmes d'information, sur le thème du genre¹¹ : dans les années 1980, plusieurs recherches (quatre ou cinq articles) montraient qu'il n'y avait pas de différence entre femmes et hommes dans leur relation à l'informatique. Près de quarante ans plus tard, ces résultats n'avaient pas été repris une seule fois par d'autres auteurs. À l'inverse, les études qui font état de différences sont largement reprises. De plus, les recherches quantitatives avancent souvent des arguments pour introduire une variable genre dans leur modèle, qui sont basés soit sur des ouvrages anciens de psychologie soit sur des affirmations générales de « sens commun », telles que « *les femmes ont souvent peur des technologies, elles ne sont pas familières des machines, etc.* ». Dans la plupart de ces recherches, la variable genre est non-significative, toutefois les auteurs ne reviennent pas sur leurs affirmations pour les corriger. Or, ces discours sont souvent performatifs dans le sens où ils contribuent à alimenter le sens commun.

Depuis quelques années, en Australie, en Allemagne, aux États-Unis, quelques chercheuses questionnent les faibles résultats des actions pour améliorer l'équilibre femmes-hommes dans le numérique¹². Elles montrent que trois grandes théories sont mobilisées (explicitement ou non) dans la recherche comme dans les actions. D'abord, l'essentialisme : les différences observées dans la relation aux technologies sont considérées comme fixes et immuables pour tous les hommes (considérés comme un groupe) et toutes les femmes (considérées comme un autre groupe), et elles sont supposées dériver de facteurs biologiques ou psychologiques. Cette théorie est très répandue, et son usage relève souvent de l'idéologie. La deuxième grande théorie est celle de la construction sociale (c'est-à-dire la culture) : l'éducation, les métiers, les rôles, sont internalisés par tous. Le résultat est semblable : femmes et hommes constituent deux groupes homogènes et profondément différents entre eux dans la relation à l'informatique. Tous les discours sur l'apport spécifique des femmes dans l'informatique sont basés sur une de ces deux théories. Troisième et dernière théorie, beaucoup moins répandue, c'est ce qu'on appelle parfois l'intersectionnalité : seule une pluralité de facteurs peut expliquer les différences d'attitude et de comportement. On ne part pas d'une explication globalisante, mais on va chercher les facteurs particuliers qui ont orienté l'un ou l'autre comportement (culture, groupe social, parcours, influences, expériences...). Les recherches basées sur cette théorie permettent d'identifier les facteurs qui ont de l'impact. Quand on dit qu'il y a que 20 % de femmes dans le numérique, la vraie question est de savoir pourquoi elles

11. <https://doi.org/10.3917/sim.183.0011>.

12. <https://doi.org/10.1111/isj.12072>, <https://doi.org/10.1080/0960085X.2018.1495893>, <http://dx.doi.org/10.1016/j.infoandorg.2013.08.003>.

sont là, pourquoi les hommes sont là, quels sont les facteurs qui ont joué. En particulier, tous les facteurs d'inclusion devraient être considérés. Un rapport paru l'an dernier aux États-Unis montre une très forte sous-représentation des hispaniques et afro-américains en informatique et une sur-représentation des asiatiques¹³. Une recherche récente sur les professionnelles du numérique indique que les femmes afro-américaines ont moins d'amis en informatique que les hommes et les autres femmes, alors que le fait d'avoir ces amis a été plus significatif pour elles dans leur choix de métier¹⁴.

Pour conclure, je dirais que les actions devraient être couplées à la recherche. Pour construire une action, il devrait y avoir des hypothèses sur les causes de l'éloignement des femmes et sur ce qui pourrait avoir un effet pour renverser le mouvement, et puis après, il faudrait être capable de dire, selon une vraie démarche scientifique, pourquoi on pense que l'action aura un résultat positif et comment on va faire pour mesurer l'action. Ensuite, on agit, on mesure, on analyse les résultats et on en tire des conséquences sur les actions à venir. La dernière approche théorique (différences dans la relation à l'informatique) nécessite évidemment des recherches beaucoup plus fines que simplement mettre une variable genre dans un modèle, mais c'est la plus riche non seulement pour la connaissance mais aussi pour définir et évaluer des actions. C'est comme cela qu'on pourra construire une mixité durable. Des allers et retours entre recherches et actions, avec une évaluation systématique pourraient faire avancer la théorie et orienter les actions futures.

SIF : « *Merci beaucoup Chantal. Je vous remercie tous pour vos interventions.* »

13. <https://www.pewresearch.org/science/2021/04/01/stem-jobs-see-uneven-progress-in-increasing-gender-racial-and-ethnic-diversity>.

14. <https://doi.org/10.1145/3377426>.



Introduire les enjeux environnementaux et sociétaux du numérique en L3 informatique

Valentin Emiya^{1,3}, Julien Lefèvre^{2,3}, Frédéric Olive^{1,3},
Pierre-Alain Reynier¹, Corentin Travers¹

Introduction

L'idée d'une unité d'enseignement (UE) sur les impacts du numérique en licence d'informatique à Aix-Marseille Université prend corps en 2019, dans un contexte de prise de conscience de l'incidence du numérique sur l'environnement. Alors que l'on voit émerger des études telles que le rapport « Lean ICT – Pour une sobriété numérique » du *Shift Project* publié fin 2018 [10] et la méta-analyse de [5], alors que le GdS EcoInfo existe depuis plus de dix ans, que cette thématique était à l'honneur du congrès de la SIF en 2020⁴, ces aspects restaient à introduire dans nos formations et peu d'initiatives similaires existaient⁵. Cette nécessité a depuis été prise en compte par la loi dite REEN⁶.

Les questions environnementales étant liées à des questions sociétales, nous avons créé une UE intitulée « Impacts environnementaux et sociétaux du numérique », UE

1. Aix Marseille Université, université de Toulon, CNRS, LIS, Marseille.

2. Aix Marseille Université, CNRS, INT, institut neurosciences de la Timone, Marseille.

3. Atelier d'écologie politique d'Aix-Marseille.

4. <https://congres.societe-informatique-de-france.fr/archive-programme-2020>.

5. <https://ecoinfo.cnrs.fr/2019/06/21/formations-abordant-les-aspects-environnementaux-du-numerique>.

6. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000044327272>.

obligatoire de 30 heures de niveau L3, avec un découpage horaire de 6 heures de cours et 24 heures de TP. Il n'a pas été simple de concevoir cette UE, qui ne correspond pas à des contenus disciplinaires ni à des objectifs classiques. Quelques ressources étaient néanmoins disponibles à travers le référentiel de connaissances d'EcoInfo⁷. Nous avons constitué un groupe de travail élargi avec la présence de deux membres du GdS EcoInfo. Une première période a consisté à explorer une large plage de thématiques. En 2021, sept réunions régulières avec les membres de la future équipe pédagogique ont permis de bâtir finement le programme des 3 cours et des 8 séances de travaux pratiques qui seront explicités dans la partie suivante.

Nous avons conçu l'UE pour qu'elle s'adresse spécifiquement aux étudiants d'informatique. Il ne s'agit donc pas d'une UE de sensibilisation non-disciplinaire pour les utilisateurs du numérique, ni d'une sensibilisation au développement durable, terme problématique par ailleurs [4].

L'UE a été découpée en deux parties et nous présentons aussi dans la foulée les modalités d'évaluation.

Descriptif de l'UE

L'UE est composée de trois cours de 2 heures, sept travaux pratiques de 3 heures et une séance de 3 heures de lecture et présentation d'articles.

Cours 1 : impacts environnementaux du numérique

Il s'agit d'introduire les questions environnementales pour le numérique en partant des tendances historiques, incarnées dans les trajectoires d'efficacité des technologies numériques (lois de Moore ou de Koomey) et les promesses associées. Les impacts directs sont abordés tout d'abord au travers des enjeux énergétiques mais plus globalement en esquissant les principes des analyses de cycle de vie (ACV) qui prennent en compte toute la matérialité physique du numérique (ressources de métaux notamment). La controverse sur les trajectoires futures a été mentionnée [5] ainsi que les différentes solutions pour limiter les impacts, comme l'éco-conception mais aussi les limites de l'efficacité au travers des effets rebonds ce qui amène à présenter des enjeux non techniques sur l'usage du numérique, à commencer par la sobriété.

7. <https://EcoInfo.cnrs.fr/2020/09/30/referentiel-de-connaissances-pour-un-numerique-eco-responsable>.

Cours 2 : graphes, réseaux sociaux

Ce cours vient plus directement introduire les deux TP adossés à cette partie. Le parti pris est résolument plus technique puisqu'il s'agissait d'offrir à la fois 1) une description des réseaux sociaux, en particulier numériques, dans lesquels la société s'insère toujours plus depuis les années 2000 ; 2) le principe d'un algorithme phare, comme le *page-rank*, utilisé au quotidien par tout un chacun et dont la conception structure notre vie, avec de possibles biais. Ces deux thèmes mériteraient qu'on y passe plus de temps, notamment sur les enjeux non techniques mais il est néanmoins possible d'esquisser des questions fondamentales sur la non-neutralité des algorithmes [3].

Cours 3 : le protocole Bitcoin

Ce cours présente les mécanismes algorithmiques mis en œuvre dans le protocole Bitcoin pour répondre à un problème classique de l'informatique répartie : établir un ordre total et immuable sur des transactions de façon décentralisée et sans tiers de confiance. Ce protocole apparaît comme une grande réussite de plusieurs points de vue usuels : informatique (robustesse du protocole, simplicité), économique (nombreuses startups dont l'activité gravite autour du Bitcoin et d'autres cryptomonnaies fondées sur les mêmes principes, industries de production de matériel, de minage, etc.) et promesse de nouvel eldorado financier (cf. articles de la presse généraliste sur comment investir dans les cryptomonnaies⁸). Dans un second temps, le cours tente d'amener les étudiants à s'interroger sur la pression environnementale induite par le déploiement massif de ce protocole et de ses dérivés, non seulement du point de vue de la consommation énergétique de l'ensemble du système, mais aussi de l'empreinte de la production des matériels de minage et de leur renouvellement.

TP1 : introduction à l'analyse de cycle de vie des équipements numériques

Dans ce TP, les étudiants prennent conscience de l'impact énergétique de quelques appareils familiers (smartphone, portable, etc.) à l'aide de wattmètres. D'autres données sont collectées pour des équipements plus conséquents (superordinateurs), ainsi que les émissions GES de la phase de production, au travers notamment d'informations fournies par les constructeurs⁹. À partir de ces données, les étudiants sont en mesure d'avoir un ordre de grandeur de leur propre bilan carbone dans le domaine numérique. Les chiffres trouvés sont assez consistants, dans une fourchette de 150–500 kg eqCO₂.

8. https://www.lemonde.fr/argent/article/2022/08/02/quelles-cryptomonnaies-privilegier_6136900_1657007.html.

9. <https://www.dell.com/en-us/dt/corporate/social-impact/advancing-sustainability/sustainable-products-and-services/product-carbon-footprints.htm>.

TP2 : impact des vidéos

Ce TP s'appuie sur les publications du *Shift Project* sur l'impact des vidéos [10, 11]. Un objectif est de faire le lien entre l'expérience individuelle de chacun — conscience de la place de la vidéo dans ses usages quotidiens, des besoins de stockage et de débit associés — et les phénomènes globaux — 80 % des flux de données au niveau mondial seraient dus à la vidéo, les parts les plus importantes relevant des films et séries en VoD, de la pornographie et des vidéos publiques courtes type YouTube. Pour rendre cela tangible, le TP montre comment mesurer l'impact environnemental lié aux vidéos en utilisant le modèle *1Byte* [11] et sensibilise, manipulations à l'appui via *ffmpeg*, aux principaux paramètres d'encodage des vidéos et à leur impact sur la taille et la qualité subjective des vidéos produites. Dans la continuité du TP, les étudiants sont invités à étudier le rapport « Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne » [11] avec une évaluation par QCM ensuite. Alors que la partie pratique est technique, la lecture de ce rapport ouvre la réflexion sur les usages, les possibilités d'action à différents niveaux (techniques, réglementaires, politiques, etc.) et les problèmes sous-jacents (inégalités, liberté d'expression, neutralité du net, etc.).

TP3–4 : consommation énergétique du code, utilisation de la plateforme Grid5000

Dans ces deux séances, il s'agit d'évaluer la consommation énergétique de programmes en phase d'usage et de pouvoir procéder à une comparaison de langages, dans l'esprit de [7]. Les wattmètres du premier TP n'étaient pas adaptés à la configuration des salles machine du fait de la virtualisation des sessions utilisateur. Nous avons donc proposé aux étudiants de travailler sur la plateforme *grid5000*¹⁰ qui offre la possibilité de réaliser des travaux pratiques sur des clusters et de suivre la consommation énergétique des nœuds de calcul. La première séance consiste en une prise en main de cet environnement nouveau dans la formation des licences (protocole *ssh* etc.) puis à des premiers tests sur l'énergie consommée et les variations de température des nœuds. La seconde séance vise à comparer les performances de Java, C et Python sur un algorithme classique de tri rapide.

TP5 : graphes aléatoires et graphes réels

Ce TP vient illustrer la première partie du cours 2 et s'articule entre des notions de métriques globales de graphes (longueur moyenne des plus courts chemins, distribution des degrés, coefficient de clustering) et des modèles de graphes aléatoires (Erdős-Renyi, Watts-Strogatz, etc.). Une conclusion naturelle est de considérer une partie d'un vrai réseau social et de voir quel modèle lui correspond le mieux.

10. <https://www.grid5000.fr>.

TP6 : page rank

L'objectif de ce TP est de présenter aux étudiants les grands principes de l'algorithme *Page Rank*, et de l'utiliser pour illustrer les biais possibles des algorithmes de recommandation. Après quelques rappels sur le calcul de la distribution stationnaire d'une chaîne de Markov, une version simple de l'algorithme *Page Rank* est implémentée, en utilisant certaines fonctionnalités de la librairie `networkx`¹¹ pour la détection des puits. Cet algorithme est appliqué aux différents graphes générés dans le TP précédent. On implémente ensuite une ferme de liens, afin de montrer qu'il est possible de chercher à tromper l'algorithme *Page Rank*, et des évaluations empiriques sont réalisées sur un graphe de Barabasi-Albert.

TP7 : bitcoin

Ce TP vient en complément du troisième cours. Les objectifs sont de manipuler la blockchain Bitcoin et d'estimer la consommation électrique du système, notamment du minage. À l'aide d'une bibliothèque, les étudiants créent des transactions et les insèrent dans une blockchain fictive en procédant au minage de nouveaux blocs. Ils sont ensuite amenés à estimer le temps et le coût énergétique pour miner un nouveau bloc selon les paramètres actuels du réseau Bitcoin avec les matériels dont ils disposent (ordinateur personnel, serveur de l'université, carte graphique, etc.). Enfin, à partir d'API web qui collecte des données sur le réseau Bitcoin et de caractéristiques des matériels utilisés en pratique pour le minage, il s'agit d'estimer la consommation électrique du réseau et de la mettre en perspective de la consommation nationale d'un pays, en l'occurrence la Finlande.

Atelier de lecture d'articles

En lieu et place d'une nouvelle séance de travaux pratiques orientée sur de la programmation, il a semblé judicieux d'offrir un moment de lecture d'articles, suivi d'une restitution en groupe. Dix sujets ont été proposés à partir de sources variées (journaux grand public, rapports techniques, articles scientifiques) portant sur la 5G ou la 6G, les algorithmes d'affectation (type Parcoursup¹²), le bitcoin, le contrôle des algorithmes des GAFAM, le crédit social en Chine, démocratie et réseaux, les écrans et la réussite scolaire, récompense et dépendance numérique, vie privée et capitalisme de surveillance, wikipedia et *Non Fungible Token* (NFT). L'idée générale était de proposer des contenus non techniques, pour resituer la place de l'informatique et de ses applications dans l'écosystème social.

11. <https://networkx.org>.

12. https://services.dgesip.fr/T454/S764/algorithm_national_de_parcoursup.

Évaluation de l'UE

La question de l'évaluation d'une telle UE reste ouverte : qu'évalue-t-on et comment ? Peut-on définir des compétences associées à cet UE dans ce contexte ? N'est-ce pas plutôt l'engagement, le sérieux et les efforts qu'il faut susciter ? En plus d'une évaluation classique des travaux pratiques (sous forme de compte-rendus, notebook ou code), nous avons proposé deux courts QCM ; l'un portant sur l'impact des vidéos, l'autre sur l'évolution de l'internet des objets¹³. L'expérience montre que les étudiants ont joué le jeu de la lecture, qu'il s'agisse de la préparation à l'avance des QCM ou de la séance de TP débranchée, avec une réelle implication.

Analyse

Après une première édition de cette UE, nous pouvons d'ores et déjà faire plusieurs constats, qui feront parfois écho à certains points abordés dans [6].

Retour des étudiants

À ce stade, nous n'avons pas de vision globale sur l'appréciation de l'UE et de sa pertinence par les étudiants. Néanmoins, deux réactions nous ont marqués.

D'une part, avant le démarrage de l'UE, certains ont exprimé la crainte d'un cours de culture générale, de sociologie ou d'histoire au détriment de l'acquisition de compétences techniques. D'autre part, au fil des échanges et des séances, nous avons remarqué un décalage entre l'idée d'une génération inquiète des questions environnementales et le techno-optimisme observé à plusieurs reprises chez les étudiants. À titre d'exemple, dans le contexte du rapport sur l'IoT où sont présentés à la fois les bénéfices et les risques, à la question de QCM « L'internet des objets vous paraît-il intéressant pour la société en termes de balance des bénéfices et des risques ? », les 118 réponses se répartissent comme suit : « oui » pour 61%, « j'ai besoin de plus de connaissance pour me faire un avis » pour 35%, « non » pour 4%.

Ces résultats nous ont poussés à nous interroger sur les représentations et valeurs véhiculées par nos cursus. Car ces étudiants fréquentent l'université depuis trois ans et c'est en grande partie à notre contact qu'ils ont élaboré leur appréhension du rôle des sciences et des techniques. La vision « progressiste » particulièrement répandue dans notre communauté n'est certainement pas sans lien avec le parti pris techno-optimiste majoritaire décelé par le sondage précité. D'autant que le système universitaire favorise une forme d'enfermement disciplinaire qui n'encourage pas les étudiants à un retour réflexif sur leur propre discipline. Nous sommes ici au cœur de problématiques — finalités de la science, neutralité axiologique, valorisation de

13. <https://www.strategie.gouv.fr/publications/monde-de-linternet-objets-dynamiques-maitriser>.

l'esprit critique, citoyenneté du scientifique — qui mobilisent des collectifs universitaires comme « labos1point5¹⁴ » ou les ateliers d'écologie politique¹⁵ dont nous avons tout intérêt à entendre les analyses.

Quelle place pour la technique ?

Nous avons fait le constat que le contenu des TPs penchait fortement du côté de la technique. Les étudiants ont parfois passé trop de temps sur des problèmes de programmation en se détournant des enjeux. Cela questionne à nouveau nos attachements à un contenu disciplinaire que nous maîtrisons davantage et souligne une difficulté à s'emparer de problématiques non-disciplinaires. Il y a à la fois un enjeu de légitimité et de compétences pédagogiques [6].

Se pose ainsi une question importante sur la place de la technique dans cette UE. Nous avons voulu nous appuyer sur les compétences techniques des étudiants et les développer. Celles-ci contribuent, en effet, de manière décisive à une compréhension fine des usages du numérique et de leurs conséquences. Par exemple, on peut utiliser les compétences en programmation pour l'éco-conception [2] ou des compétences techniques sur la gestion de la vie privée pour une information rationnelle des citoyens [8].

Pour autant la problématisation des enjeux du numérique n'est pas réductible à la compréhension de ses aspects techniques. Un de nos objectifs d'évolution des contenus vise à davantage proposer aux étudiants des activités de réflexion et de prise de recul qui s'appuient sur leurs compétences techniques plutôt que de les mettre dans des situations de résolution de problèmes techniques. Par ailleurs, les enjeux abordés comportant des dimensions éthiques, philosophiques, sociologiques, économiques, il est souhaitable de convoquer d'autres disciplines sur lesquelles les enseignantes et enseignants d'informatique ne sont pas experts, démarche nécessitant une pluridisciplinarité dont nous avons déjà souligné le manque dans la partie précédente.

Autres pratiques pédagogiques au service de contenus pluri-disciplinaires

Il existe de nombreux sujets qui partent de propriétés du monde informatique et débouchent sur une vision plus large. Ainsi, l'article [1] cherche à comprendre ce paradoxe souvent décrit : pourquoi observe-t-on simultanément un progrès quasi continu dans l'efficacité des processeurs (loi de Moore et loi de Koomey) et un impact écologique croissant du secteur numérique au niveau mondial ? Invoquer l'augmentation des usages répond en partie au problème. Mais en creusant le sujet, les auteurs soulignent l'importance de l'innovation d'un côté et la nécessité de l'autre d'avoir des investissements toujours plus importants, financés notamment par des stratégies d'obsolescence et de fabrication de nouveaux usages.

14. Qui vise à réduire l'empreinte des activités de recherche sur l'environnement, <https://labos1point5.org>.

15. Issus de celui de Toulouse <https://atecopol.hypotheses.org/>.

Cet exemple illustre, comme on l'a déjà dit, le recours au point de vue d'une autre discipline, ici l'économie. D'autre part, l'exemple soulève des questions qui ne font pas nécessairement consensus dans la communauté. Cependant, la mise en débat n'est pas en soi une mauvaise chose et permet de développer l'aspect critique des étudiants. Il s'agit là d'aborder des questions politiques (*politikos*, ce qui concerne l'organisation d'une société) dans l'enseignement comme cela est discuté favorablement dans [6].

Une manière de sensibiliser les étudiants à des sujets complexes et ramifiés disciplinairement passe aussi par des formes pédagogiques nouvelles. Celles-ci peuvent trouver leur inspiration du côté d'ateliers pratiques mis en place par des collectifs comme la fresque du climat¹⁶ ayant donné naissance à de nombreuses variantes dont la fresque du numérique¹⁷. Ces ateliers ouverts à la société civile ont également vu une déclinaison tournée vers le monde académique pour questionner le sens de l'activité de recherche au regard des enjeux liés à l'Anthropocène [9]. Au travers de jeux d'intelligence collective, ce type d'ateliers permet d'autres modalités d'échange entre les étudiants, en partageant leurs regards sur une question, au travers de matériel plus ou moins sophistiqué, par exemple des cartes à agencer et relier. L'intérêt de ces approches est multiple, qu'il s'agisse d'avoir une activité un tant soit peu dénumérisée ou de travailler en groupe. Les lectures d'extraits de textes de SHS proposés dans les ateliers SEnS[9] comme point de départ de discussion ou débats permettraient également des interactions en petits groupes. Enfin, si nous avons eu quelques retours sur le fait que la lecture dans les études d'informatique n'était plus habituelle, étudiants comme enseignants ont trouvé l'exercice profitable. Revenir à des activités de lecture et développer des compétences d'analyse et de synthèse nous semble primordial pour atteindre nos objectifs.

Conclusion

Cet article présente une tentative de traitement, dans un cursus d'informatique, de la question des impacts environnementaux et sociétaux du numérique. Nous insistons sur l'importance de la pluri-disciplinarité dans un tel projet et le fait qu'il comporte des difficultés pratiques auxquelles notre communauté sera de plus en plus confrontée et qui pourront être surmontées par des initiatives de partage d'expérience ou des propositions de référentiels. Il est probable que dans les prochaines années, il y ait de plus en plus de besoins en compétences liées à l'éco-conception, à la fois lors de l'arrivée sur le marché de l'emploi, mais aussi dans le cadre de réorientations de carrière. Ainsi, en plus d'une réforme de certains contenus d'enseignement et de nouvelles expériences pédagogiques, il pourra être bénéfique de préparer les étudiants à un monde qui connaîtra des bouleversements avec une incertitude sur les

16. <https://fresqueduclimat.org>.

17. <https://www.fresquedunumerique.org>.

trajectoires possibles, de la technologie verte au *low-tech*¹⁸. Les supports de cours sont accessibles sur internet¹⁹ et les corrigés disponibles sur demande à Julien Lefèvre.

Remerciements

Les expériences présentées dans cet article ont été effectuées en utilisant la plateforme Grid’5000²⁰, soutenue par un groupement d’intérêt scientifique organisé par Inria, le CNRS, RENATER et plusieurs universités ainsi que d’autres organisations. Nous remercions les membres du groupe formation d’Ecoinfo qui ont permis des partages d’expérience et de matériel pour l’élaboration de cette UE.

Références

- [1] David Bol, Thibault Pirson, and Rémi Dekimpe. Moore’s law and ICT innovation in the Anthropocene. In *2021 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, pages 19–24. IEEE, 2021.
- [2] Cyrille Bonamy, Cédric Boudinet, Laurent Bourgès, Karin Dassas, Laurent Lefèvre, Benjamin Nissasi, and Francis Vivat. L’écoconception d’un service numérique : des actions pour réduire l’impact environnemental du numérique. *1024 : Bulletin de la Société Informatique de France*, (19) :59–68, 2022.
- [3] Dominique Cardon. Le pouvoir des algorithmes. *Pouvoirs*, (1) :63–73, 2018.
- [4] Fabrice Flipo. Les trois conceptions du développement durable. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, 5(3), 2014.
- [5] Charlotte Freitag, Mike Berners-Lee, Kelly Widdicks, Bran Knowles, Gordon S Blair, and Adrian Friday. The real climate and transformative impact of ICT : A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, 2(9) :100340, 2021.
- [6] Anne-Laure Ligozat, Kevin Marquet, Aurélie Bugeau, Julien Lefevre, Pierre Boulet, Sylvain Bouvet, Philippe Marquet, Olivier Ridoux, and Olivier Michel. How to integrate environmental challenges in computing curricula? In *Proceedings of the 53rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1*, pages 899–905, 2022.
- [7] Rui Pereira, Marco Couto, Francisco Ribeiro, Rui Rua, Jácome Cunha, João Paulo Fernandes, and João Saraiva. Energy efficiency across programming languages : how do energy, time, and memory relate? In *Proceedings of the 10th ACM SIGPLAN International Conference on Software Language Engineering*, pages 256–267, 2017.
- [8] Abbas Razaghpanah, Rishab Nithyanand, Narseo Vallina-Rodriguez, Srikanth Sundaresan, Mark Allman, Christian Kreibich, Phillipa Gill, et al. Apps, trackers, privacy, and regulators : A global study of the mobile tracking ecosystem. In *The 25th Annual Network and Distributed System Security Symposium (NDSS 2018)*, 2018.
- [9] Eric Tannier, Vincent Daubin, and Sophie Quinton. La crise de l’esprit scientifique : une enquête, une tragédie, une redistribution collective des rôles. *Les Cahiers de Framespa. e-STORIA*, (40), 2022.

18. Voir par exemples les quatre scenarios de neutralité carbone proposée par l’ADEME <https://transitions2050.ademe.fr>.

19. <https://amubox.univ-amu.fr/s/jmPEfaFAM6wkLwi>.

20. <https://grid5000.fr>.

- [10] The Shift Project. Lean ICT - Pour une sobriété numérique. <https://theshiftproject.org/article/pour-une-sobriete-numerique-rapport-shift/>, October 2018.
- [11] The Shift Project. Climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne. <https://theshiftproject.org/article/climat-insoutenable-usage-video/>, July 2019.



Vers une méthode pédagogique innovante pour former les étudiants aux approches agiles dans l'enseignement supérieur : A.L.P.E.S

Jannik Laval, Mathieu Vermeulen¹

Introduction

En 2001, un groupe de développeurs en informatique de premier plan a conçu et rédigé le Manifeste agile [1]. Ce manifeste visait à proposer un nouveau paradigme pour le développement de logiciels autour de quatre principes fondateurs comme alternative aux méthodes classiques de gestion de projets informatiques :

- les individus et leurs interactions plus que les processus et les outils ;
- des logiciels opérationnels plus qu'une documentation exhaustive ;
- la collaboration avec les clients plus que la négociation contractuelle ;
- l'adaptation au changement plus que le suivi d'un plan.

Aujourd'hui, les approches et méthodes agiles (avec, à titre d'exemple, le célèbre *SCRUM* [3]) basées sur ce manifeste sont très répandues dans le monde du développement informatique mais aussi dans d'autres secteurs de l'entreprise.

Dès lors, il semble judicieux d'initier les futurs ingénieurs et les futurs cadres aux approches agiles. L'idée défendue n'est pas seulement d'enseigner la gestion de projet agile, mais d'intégrer cet enseignement dans une démarche pédagogique de manière transversale. Par ailleurs, la pédagogie par projet est largement utilisée dans

1. Université de Lyon, IUT, département QLIO.

l'enseignement supérieur et possède de nombreuses qualités intrinsèques. Cela dit, la question d'une pédagogie par projet intégrant les concepts des approches agiles se pose :

- (i) comment les approches agiles pourraient-elles être intégrées dans l'apprentissage par projet ?
- (ii) les approches agiles pourraient-elles être enseignées par la pédagogie par projet ?

Dans cet article, nous travaillons sur deux hypothèses : (1) un cours dans l'enseignement supérieur peut être transformé en un cours par projet ; (2) un modèle bien défini et la méthode associée peuvent aider les enseignants à remodeler leurs cours pour introduire des concepts agiles.

A cette fin, plusieurs travaux ont été menés intégrant des expérimentations de conception de cours basés sur des projets agiles. Ces derniers ont été proposés depuis septembre 2014 dans différentes formations et établissements [4, 5, 6].

Contexte

En passant en revue les expériences en matière d'apprentissage par projet [7, 8, 9] et de gestion de projet agile [3, 10], l'intégration des approches agiles dans l'éducation présente de nombreux avantages notamment d'adaptation de l'apprentissage au niveau de l'apprenant.

Apprentissage par projet

Dans le domaine de l'éducation, les projets sont définis comme des tâches complexes, basées sur des problèmes difficiles, qui impliquent les apprenants dans la conception, la résolution de problèmes, la prise de décision ou l'investigation. Dans un tel projet, un apprenant travaille seul ou forme un groupe de projet de manière autonome pendant une période déterminée. Un projet se termine par la remise d'un livrable.

Gestion de projet agile

Le Manifeste agile [1] énonce les bases d'un paradigme pour le développement des logiciels informatiques. Les approches agiles de gestion de projet sont nées d'un besoin en informatique d'adapter continuellement les projets aux besoins du client ou des utilisateurs, en mettant l'humain, et les interactions humaines, au centre du projet. La gestion de projet agile nécessite des concepts et des méthodes qui aident les différents participants (concepteurs, développeurs, utilisateurs finals, etc.) à communiquer pendant les phases du projet et à s'interroger sur les prochains développements à réaliser.

Une caractéristique clé de la gestion de projet agile est de permettre aux équipes de développer leur projet de manière itérative. Une difficulté centrale commune réside dans la définition des composants du projet à développer de manière à rendre possible un processus itératif.

Les outils issus des approches agiles peuvent être utilisés dans une grande variété de situations. Principalement, certains outils comme le *planning board*, permettent d'organiser et de suivre le projet.

Pour aider les développeurs et les chefs de projet à créer une expérience agile, *SCRUM* [3] fournit un cadre et des outils pour suivre l'avancement du projet.

Approches agiles dans l'enseignement supérieur

SCRUM a été la base de certaines expériences comme Lego4SCRUM[11] ou les cours d'enseignement du génie logiciel [12]. Dans ces approches, le but est d'enseigner directement la gestion de projet agile : c'est l'objectif pédagogique principal de ces cours. Il semble difficile d'adapter ces exemples à des disciplines autres que l'informatique.

A.L.P.E.S. [4, 6] est une adaptation de ces approches et de leurs outils associés pour une construction pédagogique. Tirant parti à la fois du paradigme de la pédagogie par projet et des principes de base de la programmation en binôme (méthode de programmation à deux sur une même machine : un *driver* qui écrit le code, et un observateur qui assiste et corrige le *driver*) [13], A.L.P.E.S. définit les séances de travail sous forme de travaux pratiques et met l'accent sur le travail collaboratif en groupe. La véritable différence d'A.L.P.E.S. par rapport aux approches existantes est que le cours est lui-même construit sous forme de projet. Alors que les approches par projet mettent les apprenants en situation de projet, A.L.P.E.S. met le cours entier en projet. Cela inclut donc l'enseignant, et permet au cours d'être évolutif et réflexif. Le reste de cet article se concentre sur les notions de développement itératif et de *user stories* utilisés dans A.L.P.E.S.

A.L.P.E.S. à travers les notions et outils agiles

La plupart des outils présentés ici sont issus de projets agiles et plus particulièrement de la méthode *SCRUM* [14]. Plusieurs solutions logicielles et applications web sont disponibles permettant de les mettre en pratique. Cependant, cette section porte davantage sur la description de la philosophie de l'outil que sur sa mise en œuvre à travers des dispositifs, des applications ou des services web.

User story

Dans l'approche *SCRUM*, une *user story* représente une fonctionnalité d'une application logicielle. Elle est représentée par une phrase simple qui décrit l'attente du composant à développer. Une *user story* illustre le besoin d'un utilisateur. Chaque *user story* est noté sur un Post-it. La *user story* est un élément central de l'approche

A.L.P.E.S., car elle permet à l'enseignant de réorganiser un cours en fonction de son application réelle, d'ajouter ou d'enlever des compétences en fonction de la vélocité de l'apprenant.

Pour concevoir une *user story*, l'enseignant doit identifier le « besoin pédagogique » et écrire une phrase avec cette structure : « En tant que [rôle], je veux [faire une tâche], afin que [un but de l'action] ». De cette façon, la *user story* est proche d'un scénario et d'une concrétisation d'un objectif pédagogique.

Pour écrire correctement une *user story*, nous recommandons qu'elle soit écrite en suivant le principe INVEST :

- indépendant : chaque *user story* doit être aussi indépendant que possible des autres afin de pouvoir les réaliser dans n'importe quel ordre ;
- négociable : tant qu'elle n'a pas été commencée, il doit être possible de modifier une *user story* ;
- valeur : la *user story* doit apporter une valeur pédagogique à l'apprenant ;
- estimable : une *user story* doit être estimable en termes de complexité ;
- suffisamment petite (*small*) : plus la *user story* est courte, plus elle sera simple et claire ; l'apprenant gagne en confiance ;
- testable : pour chaque *user story*, des critères de tests objectifs doivent être mis en place pour vérifier que les connaissances assimilées sont correctes.

Dans le cadre d'un cours, une *user story* représentera la mise en œuvre d'un ou plusieurs objectifs pédagogiques. Cet objectif pourra être clairement établi pour les apprenants sur le « but de l'action ».

Décomposition temporelle : sprint

Dans la terminologie *SCRUM*, un *sprint* identifie une itération dans le développement logiciel. Les *sprints* sont traités entre deux versions du logiciel planifiées à des échéances régulières. Un *sprint* est principalement composé de sessions de développement entre une session de *sprint planning* et une session de *sprint review*. Le *sprint planning* consiste à définir quelles fonctionnalités (*user stories*) seront développées pendant le temps alloué. Le *sprint review* consiste à présenter les éléments développés, idéalement avec des démonstrations fonctionnelles. Ces deux éléments qui délimitent un *sprint* incluent l'enseignant dans un but pédagogique. Un *sprint*, dans A.L.P.E.S., est considéré comme une séance de cours. Il dure généralement deux ou quatre heures.

Suivi du projet

Les outils de suivi du projet permettent à l'équipe de visualiser la direction ou les objectifs du projet, l'état actuel de son développement et son efficacité. Ces outils peuvent simplement prendre la forme de documents dans le répertoire du projet.



FIGURE 1. A.L.P.E.S. *planning board*.

Le planning board Il est composé de colonnes représentant chaque *sprint* (cf. figure 1). Chaque colonne contient les *user stories*, représentées sous forme de Post-it. Ce tableau permet à tout moment d’avoir une vue d’ensemble de l’avancement de l’apprenant : ce qui a déjà été fait (éléments des sprints précédents), ce qui est en cours de traitement (éléments du *sprint* actuel) et ce qui devra être réalisé (éléments des *sprints* futurs). Il permet de suivre la progression globale et donne aux apprenants une visibilité sur les objectifs pédagogiques. Le *planning board* est mis à jour uniquement pendant la session *sprint planning* avec la possibilité de modifier les colonnes cartographiant les *sprints* actuels et futurs.

Le task board Il contient trois colonnes (cf. figure 2) : *To Do*, *Doing* et *Done*. Chaque colonne comprend les *user stories* et les tâches associées en fonction de leur statut : pas encore réalisé, en cours de traitement ou terminé. La colonne *Doing* est également composée d’une zone *Help* qui est utile pour l’interaction avec l’enseignant. La principale raison pour laquelle les apprenants mettent des éléments en attente est qu’ils ont besoin de l’aide d’un enseignant ou d’une validation. Au cours d’un *sprint*, les Post-it modélisant les *user stories* et les tâches navigueront d’une zone à l’autre, de gauche à droite. Le *task board* permet de visualiser le statut des apprenants dans une session.



FIGURE 2. A.L.P.E.S. *task board*.

Bonnes pratiques

Le développement logiciel agile fournit un environnement favorable à l'expérimentation de « bonnes pratiques ». Au-delà d'une présentation de ces pratiques aux apprenants afin de les préparer à leur future carrière, ces pratiques apportent une valeur ajoutée, d'un point de vue pédagogique.

Programmation en binôme La programmation en binôme est une technique de développement logiciel agile dans laquelle deux développeurs travaillent ensemble sur un unique poste de travail. L'un, le pilote, écrit le code tandis que l'autre, l'observateur ou le navigateur, révisé chaque ligne de code au fur et à mesure qu'elle est écrite. Les deux personnes changent fréquemment de rôle [13]. Il est important de présenter aux apprenants travaillant ensemble sur un ordinateur unique les bénéfices de cette pratique.

Développement piloté par les tests L'idée principale définissant le développement piloté par les tests est que des tests doivent être mis en place avant de commencer tout développement. Cela permet aux apprenants de se poser les bonnes questions concernant la *user story* qu'ils vont réaliser. De plus, en effectuant fréquemment des tests (au moins un test par *user story*) les apprenants sont capables d'identifier les problèmes avant d'accumuler trop d'erreurs dans l'avancement de leur projet.

Versioning Il consiste à fixer les étapes de l'avancement du projet. Il permet aux apprenants de revenir en arrière en toute sécurité. Grâce à ce mécanisme, il est également intéressant de visualiser l'évolution des projets. En second lieu, le *versioning* aide les apprenants à travailler sur des ressources partagées.

Présentation des processus d'A.L.P.E.S.

A.L.P.E.S. se compose de deux processus : l'un décrivant le déroulement d'un cours, l'autre la création du cours. Nous vous présentons ici le processus décrivant le déroulement d'un cours. L'autre processus est décrit dans l'article [6].

Une session de cours est organisée en trois parties : (i) le début de la session où l'enseignant organise les objectifs et les apprenants organisent leur temps, (ii) pendant la séance où il s'agit d'organiser la session en cours, (iii) après la séance où l'enseignant prépare la prochaine session sur la base de l'avancement des apprenants. La figure 3 montre le processus tel qu'il devrait être exécuté. Chaque tâche a un objectif, des entrées et des sorties, et des participants. Dans chaque tâche, la lettre T (*Teacher*) ou S (*Student*) indique qui est le participant à la tâche.

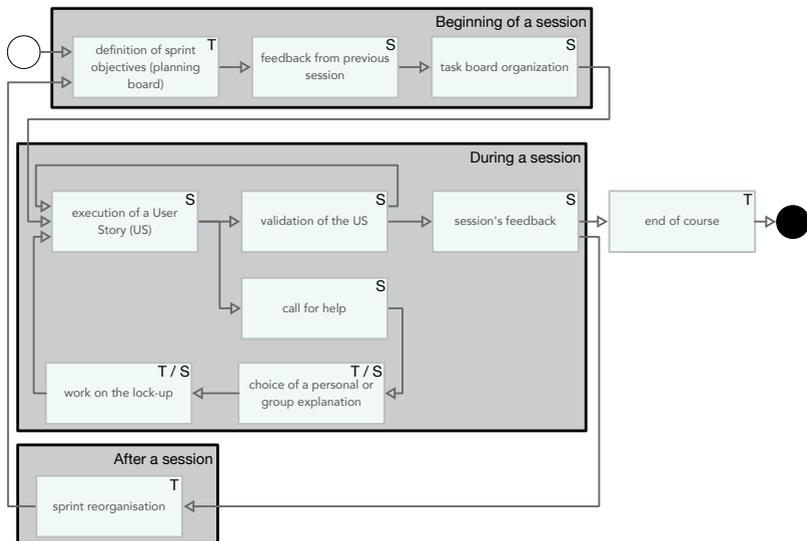


FIGURE 3. Déroulement d'une session A.L.P.E.S. (S pour *Student* et T pour *Teacher*).

Début d'une session. Ce groupe de tâches est l'organisation de la session. Il prend 5 à 10 minutes :

— définition des objectifs du *sprint* (*planning board*) : l'objectif de cette tâche est d'expliquer aux apprenants ce qu'ils vont réaliser au cours de la session ; cette tâche est soutenue par le *planning board* :

- l'entrée de la tâche est le *planning board* ;
- le résultat est un ensemble de *user stories* que les apprenants devront compléter ;
- l'acteur est le professeur ; les apprenants suivent les instructions.

— *feedback* des sessions précédentes : une fois que les apprenants ont une vision des *user stories* à réaliser, ils vont faire le lien avec les connaissances et compétences acquises lors des sessions précédentes. C'est à ce moment-là que le *feedback* de la session précédente intervient. Ce *feedback* est intéressant à ce moment car il permet de relier les sessions entre elles et de remobiliser les connaissances et compétences acquises précédemment :

- l'entrée de cette tâche est l'ensemble des *user stories* à réaliser pendant la session, dans les outils, cela représente une colonne du *planning board* ;
- la sortie est la même liste de choses à faire que l'entrée ;

- les acteurs sont les apprenants ; leur activité durant cette phase est indispensable à la bonne consolidation des connaissances. L'enseignant est présent pour répondre aux questions ;
- organisation du *task board* : tous les apprenants sélectionnent les *user stories* à faire dans la colonne correspondant à la session du jour, et placent cette liste dans le *task board*, dans la colonne *To Do*. Dans cette liste sont également ajoutées les *user stories* qui n'ont pas été réalisées lors de la session précédente (celles en retard) :
 - l'entrée de cette tâche est l'ensemble des *user stories* dans une colonne du *planning board* ;
 - la sortie est le *task board* prêt à être utilisé pour la session ;
 - les acteurs sont les apprenants ;

Pendant une session

- exécution d'une *user story* : l'apprenant choisit une tâche dans la colonne *To Do* du *task board*, et la place dans la colonne *Doing*. Comme les tâches sont indépendantes, il peut choisir celle qu'il veut, sachant qu'elles devront toutes être finalisées. Quand il a terminé, il peut valider la *user story*. S'il a un problème, il demande de l'aide en plaçant la *user story* dans la colonne *Help* :
 - l'entrée est le *task board* dans la configuration suivante : la colonne *To Do* contient les *user story* ; la colonne *Doing* est vide ; la colonne *Done* peut contenir des tâches qui ont déjà été réalisées ;
 - le résultat est le *task board* avec une *user story* placée soit dans la colonne *Doing* soit dans la colonne *Help* ;
 - les acteurs sont les apprenants ;
- validation de la *user story* : l'apprenant valide la *user story* ; en d'autres termes, selon le sujet du cours, la validation peut se faire par l'exécution d'une procédure de test, manuellement par le contrôle effectif de l'enseignant ou par l'exécution d'un jeu de tests automatisé :
 - l'entrée est la *user story* réalisée précédemment ;
 - la sortie est le *task board* mis à jour : soit la *user story* est validée et va dans la colonne *Done*, soit elle n'est pas validée et doit être retravaillée ;
 - les acteurs sont les apprenants.
- *feedback* de la session : lorsque toutes les *user stories* de la colonne *To Do* sont déplacées vers la colonne *Done*, ou lorsque la fin de la session est arrivée, les apprenants écrivent le *feedback* de ce qu'ils ont appris de la session ; le *feedback* est organisé de la manière suivante : « ce que j'ai appris », « ce que je ne comprends pas », « ce que j'ai résolu » ; en outre, les apprenants en profitent pour mettre à jour leur *task board* et leur *planning board* actualisé : les *user stories* de la colonne *Done* du *task board* sont déplacées vers la colonne de la session en cours du *planning board* ; les *user stories* des autres colonnes passent dans la colonne de la session suivante du *planning board* ; en parallèle, les apprenants mettent à jour les tableaux relatifs au projet :

- l'entrée est le *task board*, mis à jour à la fin de la session ;
 - la sortie est un *task board* vide, un *planning board* mis à jour, un *feedback* sous forme textuelle ;
 - les acteurs sont les apprenants.
- appel à l'aide : lorsqu'un apprenant est bloqué dans une *user story* à réaliser, il peut demander de l'aide au professeur via le *task board*. Il peut alors commencer une autre *user story* en attendant les réponses de l'enseignant :
- l'entrée est une *user story* sur laquelle l'apprenant a des difficultés ;
 - la sortie est un *task board* mis à jour, avec la *user story* positionnée à l'endroit approprié ;
 - l'acteur est l'apprenant.

Après une session L'enseignant adapte les différentes *user stories*. Il doit ensuite déplacer les *user stories* sur le planning, en les faisant avancer ou reculer en fonction de la progression des apprenants. Il peut également ajouter des *user stories* qui lui semblent nécessaires pour améliorer la pédagogie et la validation des compétences :

- l'entrée est le *feedback* de la session. C'est donc une évaluation qualitative via ce *feedback* et une évaluation quantitative via l'analyse des tableaux de tâches que l'enseignant doit réaliser ;
- la sortie est un planning actualisé. Il sera utilisé pour la prochaine séance ;
- l'acteur est l'enseignant.

Fin du cours La réorganisation des *sprints* concerne l'adaptation par l'enseignant des différentes *user stories* en fonction d'une évaluation qualitative et quantitative. Elle conduit à mettre à jour chaque colonne du *planning board* pour les cours suivants. Ainsi, d'année en année, l'enseignant capitalise et peut affiner ses cours en étant au plus près des besoins des apprenants :

- l'entrée est le *feedback* de la séance et le *planning board* modifié tout au long du cours ;
- la sortie est un tableau de planning mis à jour ;
- l'acteur est l'enseignant.

Conclusions

Dans cet article, nous avons présenté le concept d'approche agile dans l'enseignement, le déroulement d'un cours en A.L.P.E.S. et la définition des processus permis par l'utilisation complète de l'approche dans un cadre pédagogique. La démarche vient du terrain, comme toutes les démarches agiles. Nous avons construit l'approche A.L.P.E.S. en explorant les différents principes et les différents outils des approches agiles. Nous avons pu identifier trois classes principales, à savoir (1) les principes de temps, (2) les principes de surveillance et (3) le principe de rôle, à partir des objets agiles que nous avons étudiés. Par conséquent, un cours dans le sens de l'approche

A.L.P.E.S. est composé d'un ensemble d'éléments provenant des différentes classes de principes identifiés.

Dans les articles précédents [4, 5, 6], nous avons abordé la création d'un cours en A.L.P.E.S. et les retours des apprenants. Les définitions présentées nous fournissent un cadre pour établir les conditions minimales à la réalisation d'un cours en format A.L.P.E.S.

Références

- [1] Beck, K.; Beedle, M.; Van Bennekum, A.; Cockburn, A.; Cunningham, W.; Fowler, M.; Grenning, J.; Highsmith, J.; Hunt, A.; Jeffries, R.; et al. Manifesto for Agile Software Development. Technical Report, 2001. Available online : <https://agilemanifesto.org/> (accessed on 30 June 2022).
- [3] Schwaber, K.; Beedle, M. *Agile Software Development with Scrum*; Prentice Hall : Upper Saddle River, NJ, USA, 2002; Volume 1.
- [4] Vermeulen, M.; Fleury, A.; Fronton, K.; Laval, J. LES ALPES : Approches agiles pour l'enseignement supérieur. In Proceedings of the Colloque Questions de Pédagogies dans l'Enseignement Supérieur (QPES 2015), Brest, France, June 2015; pp. 243–248.
- [5] Vermeulen, M.; Laval, J.; Serpaggi, X.; Pinot, R. Soyez agiles dans les ALPES ! Une pédagogie en mode agile. In Proceedings of the Colloque Questions de Pédagogie dans l'Enseignement Supérieur (QPES 2017), Grenoble, France, June 2017.
- [6] Laval, J.; Fleury, A.; Karami, A.B.; Lebis, A.; Lozenguez, G.; Pinot, R.; Vermeulen, M. Toward an Innovative Educational Method to Train Students to Agile Approaches in Higher Education : The A.L.P.E.S. *Educ. Sci.* 2021, 11, 267. <https://doi.org/10.3390/educsci11060267>
- [7] John, W.; Thomas, W. *A Review of Research on Project-Based Learning*; The Autodesk Foundation : San Rafael, California, USA, March 2000.
- [8] Karabulut-Ilgü, A.; Jaramillo Cherrez, N.; Jähren, C.T. A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education. *Br. J. Educ. Technol.* 2018, 49, 398–411.
- [9] Kingston, S. *Project Based Learning & Student Achievement : What Does the Research Tell Us?* PBL Evidence Matters; Buck Institute for Education, Novato, CA : 2018; Volume 1, No. 1.
- [10] Highsmith, J.; Cockburn, A. Agile software development : The business of innovation. *Computer* 2001, 34, 120–127.
- [11] Ouitre, F.; Lambert, J.L. Le lego4scrum, un dispositif agile pour enseigner le management de projet-Innovation Pédagogique. In Proceedings of the Colloque Questions de Pédagogie pour l'Enseignement Supérieur (QPES 2015), Brest, France, 21 June 2015.
- [12] Mahnič, V. Scrum in software engineering courses : an outline of the literature. *Glob. J. Eng. Educ.* 2015, 17, 77–83.
- [13] McDowell, C.; Werner, L.; Bullock, H.; Fernald, J. The effects of pair-programming on performance in an introductory programming course. In Proceedings of the 33rd SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, New York, NY, USA, February 2002; pp. 38–42.
- [14] Sutherland, J.; Schwaber, K. The scrum guide. In *The Definitive Guide to Scrum : The Rules of the Game*; <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2017/2017-Scrum-Guide-US.pdf> accessed 27 Mai 2021, November 2017.



La Nuit de l'info

Le bureau de la Nuit de l'info¹

La 16^e édition de la Nuit de l'info s'est déroulée dans la nuit du 1^{er} au 2 décembre 2022. Cette édition a réuni environ 4 600 participants sur 62 sites répartis dans toute la France, mais aussi en Tunisie. Cette édition montre un véritable engouement pour l'événement qui a accueilli 1000 participants de plus que l'édition précédente. La qualité des productions finales et le profil totalement différent des participants montrent une réelle envie des étudiants de participer à ce genre d'événement.

Pour rappel, la Nuit de l'info est une compétition nationale qui, tous les ans, réunit étudiants du supérieur (de bac 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, la date de la Nuit de l'info coïncidait avec la journée mondiale de lutte contre le SIDA². C'est ainsi que SIS Association, anciennement nommée Sida Info Service, a été l'association partenaire qui a proposé le sujet national.

Grâce aux avancées des traitements, les personnes atteintes du VIH sous trithérapie ne développent plus le SIDA, ont une durée et une qualité de vie normale. Cependant, il faut toujours compter avec une population générale qui manque cruellement d'information et d'éducation à la sexualité, particulièrement chez les jeunes adultes. L'association SIS Association s'est donc fixé comme objectif cette année d'aider ces jeunes à devenir acteurs de leur santé sexuelle³ à travers une approche ludique et dédramatisante de la sexualité. Comment ? En proposant un *serious game* :

1. <https://www.nuitdelinfo.com>, nuitinfo-bureau@polytech.unice.fr.
2. <https://www.sidaction.org/journee-mondiale-de-lutte-contre-le-sida>.
3. <https://www.sexualites-info-sante.fr>.

un jeu vidéo, *escape game*, jeu de rôle textuel, *quizz* chronométré. Le but principal de cette édition 2022 de la Nuit de l'info était d'informer les plus jeunes adultes de manière intéressante, voire captivante.

Une des forces de la Nuit de l'info, est qu'elle permet à différentes écoles (écoles d'ingénieurs, INP, IUT, BTS, universités...) de se mesurer entre elles. Chaque équipe peut choisir cinq défis en plus du défi principal. Réussir les différents défis de la Nuit de l'info requiert une organisation parfaite et une bonne coordination des participants.

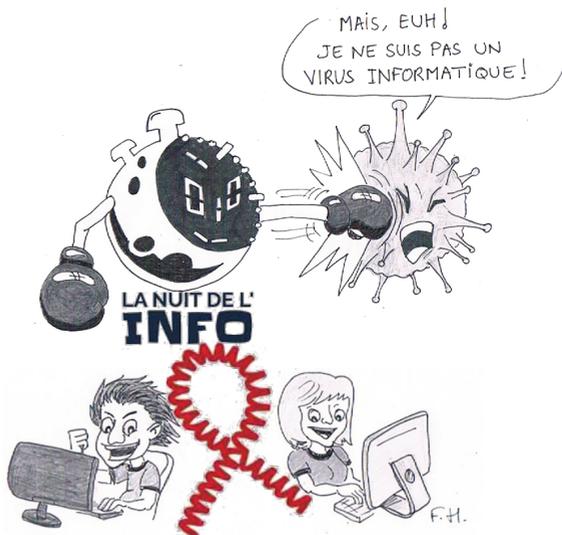
Les entreprises partenaires n'ont pas manqué d'imagination en proposant des défis sur les thèmes de l'accessibilité, l'intelligence artificielle, l'éco-conception pour réduire l'empreinte écologique d'un site et plein d'autres sujets encore (plus de 50 défis au total).

Ce que retiennent les participants de cette expérience ? Se rendre utile pour une cause juste, enrichir leurs connaissances à la fois en informatique mais aussi sur le sujet principal, gagner en maturité, réaliser un travail en équipe, vivre une expérience innovante sous contraintes, renforcer les relations entre professeurs et élèves et le contact avec des professionnels.

Les équipes n'ont pas manqué de créativité en termes d'animation pendant la Nuit : chaîne vidéo en direct, déguisements, challenges sur les réseaux sociaux, et crêpes *party*.

L'engouement et le talent des participants montrent encore une nouvelle fois que la Nuit de l'info n'a pas fini de faire des émules et que la communauté francophone des étudiants en informatique est prête à relever tous les défis ! Rendez-vous dans la nuit du 7 au 8 décembre 2023. On compte sur vous !

Les membres du bureau 2022 de la Nuit de l'info : Céline Auzias, Jean-Michel Bruel, Maxime Devanne, Stéphane Isnard, Stéphane Ribas, Julio Santilario Elena, David Roumanet et Rémi Synave en sachant que les personnes à l'origine de ce projet sont Pierre-Alain Muller, Sébastien Mosser et Mireille Blay-Fornarino.





Entretien avec Isabelle Guérin Lassous, présidente du jury du CAPES Numérique et sciences informatiques (NSI)

Olivier Baudon¹ et Charles Poulmaire²



O. Baudon et C. Poulmaire, 1024 : « *Est ce que tu peux nous rappeler ton parcours ?* »

Isabelle Guérin Lassous, IGL : Je suis enseignante-chercheuse au département informatique de l'université Claude Bernard Lyon 1. J'enseigne essentiellement les réseaux, et un petit peu d'algorithmique, algorithmique distribuée. Je fais mes recherches au laboratoire d'Informatique du parallélisme (LIP) qui est localisé à l'ENS de Lyon. Je suis dans une nouvelle équipe, qui s'appelle HowNet où on travaille principalement sur les réseaux. J'ai été recrutée professeure en 2006. Auparavant, j'étais chargée de recherche INRIA de 2000 à 2006. J'étais principalement dans une équipe qui appartenait au centre INRIA de Grenoble, mais qui était localisée à l'INSA de Lyon, dans un laboratoire qui s'appelle le CITI et qui faisait aussi du réseau. Avant cela, j'ai été post-doc pendant 1 an sur le site INRIA de Rocquencourt. J'ai fait ma thèse à l'université Paris 7, dans un laboratoire qui était le LITP et qui est devenu le LIAFA pendant ma thèse. Je ne travaillais pas sur les réseaux, mais plutôt sur de l'algorithmique parallèle. Je me suis intéressée à l'algorithmique parallèle de traitement de graphes,

1. Université de Bordeaux, LaBRI.

2. Professeur de NSI dans l'académie de Versailles, président de l'Association des enseignantes et enseignants d'informatique de France (AEIF).

avec un volant assez appliqué : voir comment les algorithmes parallèles qu'on avait dans la littérature étaient implémentables en pratique et quelle complexité on obtenait en pratique.

1024 : « *Et avant ?* »

IGL : J'étais au lycée à Bourges, où j'ai fait un bac C. Ma première expérience avec l'informatique a eu lieu en première, où l'option informatique a été mise en place en 1987. J'ai suivi cette option, je pense pendant deux ans. Ensuite, j'ai fait une classe préparatoire scientifique à Tours, puis j'ai intégré une ENSI à Caen, plutôt dirigée vers la physique quantique. Mais il y avait un parcours informatique et j'ai suivi ce parcours. Notamment, il y avait Brigitte Vallée qui donnait un cours dans cette école et comme ce parcours m'a plu, j'ai passé le deuxième concours de l'ENS Cachan que j'ai eu et j'ai donc ensuite intégré l'ENS Cachan. Et c'est dans le cadre de l'ENS Cachan que j'ai fait ma thèse.

1024 : « *Est-ce ce que tu sais pourquoi tu as été choisie pour présider le jury du CAPES et quel est le rôle de la présidente ?* »

IGL : Non, je ne sais pas pourquoi j'ai été choisie. Je sais que mon nom a été proposé. Après, j'ai été contactée. J'ai eu des entretiens avec des inspecteurs généraux notamment. Mais pourquoi mon nom à la fin est ressorti, je ne saurais pas trop dire. Le fait d'être une femme a clairement joué en ma faveur. Mais après, quels sont les autres éléments qui ont été mis en balance et qui ont fait que la balance a penché de mon côté, je ne saurais pas du tout dire.

1024 : « *Et pourquoi avoir accepté ?* »

IGL : D'abord, parce que c'est un sujet qui est très important. Cela fait très longtemps qu'on attend ces créations de CAPES et d'agrégation. Quand j'étais en thèse, mon directeur de thèse était expert au ministère et ils œuvraient déjà au ministère pour qu'il y ait des diplômes d'enseignement de l'informatique. Cela faisait donc longtemps que j'en avais entendu parler. Cela me semblait en effet un sujet critique et fondamental. Et c'est donc une façon pour moi de participer. C'était un challenge car je n'avais pas particulièrement œuvré par exemple dans la formation des enseignants. Mais c'était quand même un sujet qui était important pour moi. Avant d'accepter cette fonction, j'étais déléguée générale de la fondation Blaise Pascal³ dont l'objectif est la médiation scientifique en mathématique et en informatique. Cela faisait trois ans que je travaillais au sein de cette fondation et l'objectif était vraiment d'aider les acteurs de la médiation scientifique, notamment en informatique, auprès du grand public, des enfants... J'avais donc déjà une sensibilisation à ce sujet par ce biais. Mais je dois quand même dire que pour moi, prendre ce poste, c'était quelque chose de vraiment tout nouveau. Le ministère de l'Éducation nationale, ce n'est pas

3. <https://www.fondation-blaise-pascal.org>.

un ministère que je connaissais bien. Je ne le connais d'ailleurs pas toujours très bien.

1024 : « *Quel est le rôle de la présidente du jury de CAPES ?* »

IGL : Le rôle premier, c'est de recruter des gens qui deviendront enseignants. Les tâches de la présidente sont multiples : constituer le jury, avec plein d'équilibres pas forcément très simples à respecter. Pour faire simple, un tiers d'enseignants secondaire/prépas, un tiers d'universitaires et un tiers plutôt inspecteurs. Il faut aussi respecter la règle de parité avec 40 % de chaque sexe. Et il faut aussi essayer d'avoir un équilibre géographique. Ce sont donc toujours ces équilibres qu'il faut regarder avec, je ne vous le cache pas, la difficulté d'avoir des femmes. Non pas qu'il n'y en a pas, mais il y en a moins et surtout beaucoup refusent de participer au jury.

1024 : « *C'est sans doute qu'elles sont très sollicitées. Pour les enseignantes et les inspectrices, je ne sais pas, mais pour les enseignantes-chercheuses, on sait bien qu'elles sont très sollicitées en période de recrutement.* »

IGL : Oui, elles sont très sollicitées. Mais j'ai aussi eu le cas de femmes qui avaient un profil parfaitement adapté et qui ne se sentaient pas au niveau alors qu'à côté de cela, on reçoit des candidatures spontanées de messieurs qui disent : « *je n'ai jamais fait de formation en informatique, je m'y suis mis il y a un an et donc j'aimerais bien faire partie du jury* ». Cela reste des cas isolés, mais c'est assez étonnant de voir ces différences de comportements.

1024 : « *Est-ce qu'il y a aussi une répartition à respecter au niveau des thématiques ? Est-ce qu'il faut équilibrer entre les thématiques théoriques, le système, les bases de données...* »

IGL : Tout à fait, j'ai essayé de le faire. Ce n'est pas facile non plus. Je pense que sur les universitaires, on a réussi à avoir à peu près un équilibre entre pratique et théorie. Ce que j'ai eu du mal à avoir, ce sont des collègues compétents en système et architecture. En réseau, on en avait un peu plus. Ce n'est pas facile d'avoir ces colorations et quand il y en a qui disent oui, très vite ils se retirent par manque de temps. Pourquoi ces compétences m'intéressent ? C'est aussi pour faire des sujets. C'est la deuxième tâche d'un président de jury : il est garant des sujets d'écrit. Ce ne sont pas les présidents qui font les sujets tout seuls dans leur coin, mais on supervise beaucoup ces sujets. On passe commande auprès de personnes qui font forcément partie du jury et ensuite on échange beaucoup. Pour moi, c'est une grosse partie du travail. Il y a beaucoup d'interactions pour converger vers des choses sans erreur, sans ambiguïté, pour donner plus d'équilibre à certaines parties, pour donner une orientation un peu différente de celle prise au départ... Ce que je m'étais dit au début du mandat, c'est que sur les 4 ans, on arrive à tourner sur les thèmes du programme. Et que petit à petit, on arrive à avoir des sujets qui pavent le programme du CAPES.

1024 : « *Peut-on avoir le type d'épreuves à l'écrit et à l'oral ?* »

IGL : Il y a une réforme du concours qui s'est glissée cette année. Pour nous, les épreuves écrites n'ont pas beaucoup changé. Il y a deux épreuves écrites. Une épreuve dite « épreuve disciplinaire ». C'est une épreuve avec laquelle on va chercher à évaluer les connaissances disciplinaires des candidats. Et puis il y a ce qu'on appelle une « épreuve disciplinaire appliquée » qui est plutôt une épreuve pédagogique. On essaie de voir quelles sont les réponses pédagogiques apportées par les candidats. Ça veut dire répondre à des questions type : faire un plan de cours, comment évaluer des élèves dans un cadre donné, proposer des exercices, faire des corrections d'exercices, travailler sur de la remédiation quand il y a des élèves en difficulté, proposer une activité pédagogique (débranchée ou non)... On va donc plutôt essayer d'évaluer le côté didactique et pédagogique tout en évaluant aussi les aspects disciplinaires.

1024 : « *Et cette épreuve porte à la fois sur NSI et SNT ?* »

IGL : Oui. Le programme du CAPES, c'est le programme de SNT de seconde, de NSI en première et terminale. Tout cela doit être maîtrisé avec du recul d'un niveau master 1.

1024 : « *Concernant l'évolution du nombre de postes pour le CAPES externe, il y a 3 ans, c'était 30 postes, puis 60, et cette année, c'est 50.* »

IGL : Oui, c'est cela. Il y a quatre concours différents : le CAPES externe public, le CAPES externe privé, le troisième concours public et le troisième concours privé. Cette année, le CAPES s'adresse à des gens qui sont inscrits en master 2 ou qui ont un master ou un niveau équivalent à un master. Les gens qui ont ce niveau peuvent s'inscrire au concours externe du CAPES, soit public soit privé. Ils doivent faire un choix, on ne peut pas s'inscrire aux deux en même temps. Le troisième concours est destiné à des gens qui n'auraient pas forcément un niveau master, et qui ont au moins 5 ans d'expérience professionnelle avec des contrats de droit privé.

1024 : « *Cela ne concerne donc pas les contractuels de l'Éducation nationale ?* »

IGL : Normalement non. Ce que l'on voit souvent, ce sont des contractuels qui ont eu 5 ans d'expérience professionnelle dans le privé avant de devenir contractuel.

1024 : « *Et pour le nombre de candidats, d'admissibles, d'admis ?* »

IGL : Concernant tout d'abord le nombre de postes, on a eu une forte augmentation sur le concours CAPES public, entre le premier et le deuxième concours, puis cette baisse de 10 postes cette année. Sur le concours privé, on est en baisse constante puisque l'on passe de 10 à 8, puis à 5. Sur le troisième concours, dans le privé, on a eu 7 puis 6 postes et aucun poste cette année. Sur le troisième concours public, on est passé de 7 à 20 en 2021, et on a gardé ces 20 postes en 2022.

Si on regarde le nombre d'inscrits, on a eu une très forte inscription la première année. On était proche des 2 000 inscrits sur les quatre concours réunis. Ce nombre

d'inscrits a chuté. On en a eu beaucoup moins en 2021 et encore moins en 2022. Évidemment, en 2022, on a subi la réforme du concours. Avant, les gens en M1 pouvaient s'inscrire et on a perdu ces gens-là puisque maintenant, il faut attendre le M2. Cette baisse était attendue et a été observée sur tous les CAPES. On a donc eu une chute, mais je pense que ce n'est pas alarmant car on a eu suffisamment de bons candidats pour remplir à peu près les postes dans tous les concours. Ce que je peux rajouter, c'est qu'en terme de participation, c'est à dire le nombre de présents aux épreuves écrites par rapport au nombre d'inscrits, on oscille autour de 30 à 35 %. Cela peut paraître peu, mais par rapport aux autres CAPES, cela semble raisonnable. En nombre, l'année dernière, c'était autour de 500 et l'année d'avant autour de 600.

1024 : « *Tous les postes sont-ils tous pourvus ? Qu'en est il dans les autres disciplines ?* »

IGL : Oui, tous les postes sont pourvus sauf cette année pour le troisième concours. On avait 20 postes alors qu'on n'a eu que 43 personnes qui se sont présentées aux écrits. 29 ont été admissibles, 23 se sont présentées aux oraux. Le niveau était vraiment faible et donc on n'en a pourvu que 8. On en a donc laissé 12. C'est vraiment la première année où on a rencontré ce problème.

Sinon, pour les autres concours, on n'a pas de problème de vivier. Le niveau est tout à fait correct. Pour le troisième concours public, on avait déjà averti l'année dernière que 20 postes, c'était beaucoup par rapport au vivier. J'espère qu'avec 8 admis sur 20 postes cette année, le message va être entendu.

1024 : « *Et c'est le ministère qui décide ?* »

IGL : Oui. Je ne suis jamais sollicitée sur cette question. Je découvre le nombre de postes en même temps que tout le monde, lors de la publication, en novembre habituellement. Je suppose qu'ils regardent les besoins d'un côté, peut-être une estimation du vivier, et puis la loi de programmation financière. Pour le troisième concours, il y a peut-être un phantasme qu'il y a beaucoup d'ingénieurs en informatique qui ont envie de se reconverter. Force est de constater qu'on n'en voit pas tant que cela et en plus, certains y vont sans préparation. On va par exemple demander aux épreuves écrites d'écrire des programmes en Python et certains vont les écrire en Java.

1024 : « *Surtout que dans la deuxième épreuve, elle est professionnalisante et donc on va leur demander ce qui peut se passer dans le métier de professeur.* »

IGL : Oui, tout à fait. Les candidats du troisième concours ne passent pas la deuxième épreuve écrite. En revanche, ils sont bien testés sur les aspects du métier à l'oral. Et aux oraux, c'est pareil, certains viennent vraiment les mains dans les poches, ils découvrent la liste des leçons quand ils arrivent à l'oral.

C'est quand même un exercice où il faut se préparer un minimum.

1024 : « *Au niveau des préparations, il y a des choses qui sont disponibles à distance ?* »

IGL : Il y a une préparation qui s'est montée (peut-être sur Fun⁴ ?).

Charles : « *Je peux en parler car j'y ai participé. Mais ce n'est pas à proprement parler une préparation au CAPES, mais plutôt à l'enseignement. Il y a deux MOOC⁵ : un intitulé S'initier aux fondamentaux et un autre qui est Apprendre à enseigner le Numérique et les sciences informatiques. Mais on ne prépare pas aux épreuves. C'est plus un partage avec les collègues, cela ne se substitue pas à une préparation qui peut se passer dans les universités.*

Et sinon, au niveau du recrutement en milieu professionnel, tu penses que la tendance est déjà à la baisse au niveau du nombre de candidats ? Personnellement, je pensais que les premières années, il allait y avoir des gens souhaitant se reconvertir, mais que le vivier allait s'épuiser assez vite. »

IGL : La première année, pour le troisième concours, public uniquement, on avait 517 inscrits et 130 sont venus pour 7 postes. La deuxième année, on avait 20 postes pour 266 inscrits et 62 sont venus. Donc le nombre de candidats a été divisé par deux alors que le nombre de postes avait été multiplié par trois. Cette année, on avait 20 postes pour 171 inscrits et 43 sont venus. On a vraiment eu une baisse. Est-ce que le fait qu'il n'y ait eu que 7 postes la première année a découragé les gens ? Je ne sais pas...

1024 : « *Et sinon, il y a un certain nombre d'anciens doctorants qui n'ont pas voulu partir dans l'industrie et qui ont préféré devenir contractuel, en particulier en mathématique. J'imagine que pour eux, le CAPES NSI est une bonne opportunité de devenir fonctionnaire. Est-ce que vous en avez vu ?* »

IGL : Effectivement, il y a pas mal de jeunes qui ont une thèse ou sont en thèse et qui candidatent. Je n'ai pas de statistiques précises pour l'instant. Le problème, c'est que j'ai des noms, mais le ministère ne me communique pas les CV. Cette année, cela va être plus facile car il y a une épreuve orale dans laquelle les candidats fournissent une fiche individuelle contenant leur CV. Ce sera plus facile de tracer le parcours des gens qu'on aura retenus. Pour les années précédentes, il faut aller regarder sur les moteurs de recherche pour avoir les informations. Et tout le monde n'est pas forcément visible.

1024 : « *Et pour l'oral ?* »

4. www.fun-mooc.fr/fr/cours/apprendre-a-enseigner-le-numerique-et-les-sciences-informatiques.

5. <https://mooc-nsi-snt.gitlab.io/portail>.

IGL : Une contrainte posée par le ministère, c'est de ne retenir pour l'oral qu'au maximum 2,25 fois le nombre de postes. Il y a donc des gens que l'on peut trouver très bien, mais qu'on ne peut prendre parmi les admissibles à cause de ce seuil.

Au niveau de l'organisation, cet oral a un peu changé par rapport aux deux années précédentes. Déjà la première année, l'oral n'a pas eu lieu à cause de la Covid. Les épreuves écrites devaient avoir lieu en mars 2020. Elles ont été déplacées à la fin juin. Le temps de corriger, cela nous amenait à faire les oraux en août et le ministère a dit non. Donc les gens ont été recrutés sans l'épreuve orale, et donc sans qu'on les rencontre, ce qui est dommage. En 2021, il y avait deux épreuves. Tout d'abord une épreuve de leçons. Une liste de leçons a été définie en septembre, qui sont les leçons sur lesquelles les candidats peuvent être interrogés. Les admissibles doivent tirer une feuille sur laquelle il y a deux leçons et ils choisissent celle sur laquelle ils veulent travailler. En 2021, il y avait 3 heures de préparation pour cette épreuve. En 2022, cette épreuve a été conservée avec seulement 2h30 de préparation. Et ensuite, il y a une heure d'oral. Cette heure d'oral a aussi été un peu modifiée cette année. Elle s'organise en deux parties : une partie de 30 minutes où les candidats présentent ce qu'ils ont préparé pendant les 2h30 et ensuite une partie où il y a une interaction avec le jury qui va poser des questions. La première partie est un peu formatée. On leur demande de présenter pendant 20 minutes ce qu'ils ont préparé. Dans cette présentation, on leur demande un plan détaillé de la leçon, et de développer une ou plusieurs activités en lien avec cette leçon. Ensuite, le jury demande au candidat de développer pendant 10 minutes soit un point spécifique du plan, soit une activité qui a été mentionnée. Et ensuite, on enchaîne sur les questions.

En 2022, on a un nouvel oral, qui s'appelle l'épreuve d'entretien. Elle dure 35 minutes. Il n'y a aucune préparation. Les candidats ont soumis au préalable une fiche individuelle dans laquelle ils expliquent leur parcours, avec les éléments saillants qui permettent de motiver leur candidature. L'épreuve est découpée en deux parties : une partie de 15 minutes qui est liée à la présentation de ce qu'ils ont fait et une partie de 20 minutes qui consiste en des mises en situation professionnelle. Sur la partie de 15 minutes, ils sont en solo 5 minutes pendant lesquelles ils présentent leur parcours, pour expliquer en quoi ce qu'ils ont fait peut être intéressant pour ce métier. Ensuite, le jury pose 10 minutes de questions par rapport à ce qu'ils ont évoqué avant. Pendant la deuxième partie de 20 minutes, il y a une mise en situation « enseignement » et une mise en situation « vie scolaire ». Chacune dure 10 minutes. On pose une question au candidat, qui peut prendre un peu de temps de réflexion, prendre des notes pour organiser ses idées, et ensuite il va répondre en disant comment il réagirait à la situation énoncée.

Cette épreuve était toute nouvelle cette année et son objectif, c'est d'évaluer la motivation des candidats, leur connaissance de l'institution, des valeurs de la république, et comment ils réagissent face à des problèmes réels.

1024 : « *Et est-ce que tu penses que ces épreuves permettent de sélectionner de bons enseignants capables d'enseigner NSI ?* »

IGL : J'espère. Je pense que ce qu'il manque actuellement, et qui se fait à l'agrégation, c'est une épreuve pratique (TP). Cette année, on a trouvé qu'il y avait trop de candidats qui n'étaient pas au point sur la programmation Python, qui n'étaient pas capables à l'oral d'écrire des petits programmes Python faciles. Souvent à l'oral, ils vont se cantonner à faire des transparents, des schémas, mais ils sont peu dans la réalisation informatique. Et vu le format de l'oral, je ne vois pas comment on peut les obliger à l'être, sauf à mettre des recommandations dans le rapport de jury, à dire qu'on le notera. Mais il n'y a pas de cadre qui oblige les candidats à le faire. Et donc, je me dis qu'il manque peut-être une épreuve pratique pour que l'on puisse évaluer un peu tout.

1024 : « *Un peu comme au bac NSI avec l'épreuve écrite et l'épreuve pratique.* »

IGL : Oui.

1024 : « *Est ce que ce type d'épreuve existe dans les autres disciplines ?* »

IGL : Je ne saurais pas dire, mais à l'agrégation d'informatique, cela a été mis en place. C'est sûr que c'est beaucoup d'organisation. Ceci dit, on a l'environnement informatique et les salles pour qu'ils puissent le faire. Je pense que ce serait tout à fait faisable. Mais il faudrait revoir l'organisation du concours.

1024 : « *A l'agrégation d'arts plastiques, il y a aussi une épreuve pratique.* »

IGL : Oui tout à fait. Les candidats ont des réalisations à faire.

1024 : « *Au premier CAPES, il y avait eu 30 admis et il y avait eu 12 démissions. Que peut-on dire sur ces démissions ?* »

IGL : C'est difficile. Les gens qui démissionnent peuvent avoir des raisons assez différentes. Ce qui est sûr, c'est qu'on a affaire à un public qui est volatile. Volatile car c'est un public qui n'est pas en danger au niveau emploi. Et donc ce sont des gens qui passent aussi le concours pour voir. Ça les intéresse, mais ce n'est pas forcément cette chose-là qu'ils ont envie de faire. Ils voient ce qu'on leur propose comme poste. Si ce n'est pas un endroit qui les intéresse, ils vont finalement partir dans le privé. Cela peut être différent dans d'autres disciplines. En tout cas, avec les jeunes que je connais, avec qui je discute, qui l'ont eu et qui ne l'ont pas forcément pris, ils mettent tout en balance avec d'autres emplois.

1024 : « *Moi, je devais avoir l'année dernière des stagiaires. Ils ne sont pas venus car ils devaient se déplacer et ils avaient déjà un poste près de chez eux. J'ai l'impression qu'ils n'anticipent pas le métier. Ils sont surpris de devoir bouger. Il y a aussi le problème des INSPE. Comme il n'y en a pas beaucoup pour s'occuper des*

stagiaires, c'est assez problématique pour eux. Ils font parfois des déplacements de deux heures. »

IGL : Oui, c'est vrai aussi qu'il n'y a pas beaucoup de préparation au CAPES. C'est sans doute lié au fait que dans beaucoup d'établissements, les enseignants-chercheurs en informatique sont déjà en sur-service. Ils n'ont pas forcément le temps de s'investir sur autre chose. Et comme ce sont aussi souvent des promotions de petite taille, les universités n'ont pas forcément envie d'investir.

Il est clair que cette évaporation est un vrai problème. Je ne sais pas si le ministère le réalise bien. C'est sans doute difficile à analyser car il y a sans doute des raisons assez différentes. Mais il est bien là. Comment mieux fidéliser les gens qui passent le concours et qui l'ont, c'est une bonne question.

1024 : *« Il y aussi des soucis au niveau des ressources humaines entre ceux qui ont le CAPES et ceux qui ont le DIU, qui sont à peu près tous issus d'une autre discipline. Et ces personnes qui se sont investies, on peut leur dire à tout moment de revenir dans leur discipline d'origine, même partiellement. C'est un souci de gestion au niveau national. Mais cela ne concerne sans doute pas la présidence du CAPES.*

Je pense que l'accueil des stagiaires est important. Et également la gestion des mutations. En tant que président de l'AEIF, j'ai reçu des messages concernant des mutations, c'est assez surprenant : des titulaires du DIU qui se font virer car remplacés par un certifié, des certifiés nommés sur des postes avec uniquement du SNT, sans vraiment de perspective de carrière, ou parfois nommés en BTS ou dans le supérieur sans vraiment de lien avec le CAPES NSI. »

IGL : J'avoue que ces créations de postes, affectations, c'est encore assez nébuleux pour moi. En tant que présidente du jury, je ne suis pas mise au courant de quoi que ce soit, ni sollicitée. Mon rôle, c'est de recruter des gens et après, les affectations, c'est du ressort du ministère et des rectorats.

Je suis d'accord que cela interpelle, mais à mon échelle, je ne sais pas à qui m'adresser. Je pense qu'il y a des choses à dire qu'on ne m'a jamais demandées. Je pense qu'il faudrait déjà une cartographie propre des besoins.

1024 : *« Oui, mais ce n'est vraiment pas évident, d'autant que beaucoup d'enseignants sont rattachés à une autre discipline. Ce serait évidemment plus facile si on avait uniquement des certifiés NSI. »*

IGL : Ce qui est vrai, c'est que la mise en place de la spécialité a été faite dans la précipitation. C'est très bien qu'elle ait été créée. On l'attendait. Et on ne peut pas créer dès l'origine un concours avec le nombre de postes pour couvrir tous les besoins. Mais c'est vrai qu'on peut avoir l'impression que les choses ont été faites un peu à l'envers.

1024 : « *D'autant que pour le DIU, c'est surtout la SIF qui s'en est occupée, suivie par les collègues dans les universités. C'est vrai qu'on avait un peu peur que les élèves des premières générations apprennent n'importe quoi.* »

IGL : Oui, il aurait fallu recruter des gens avec un CAPES NSI pour l'année où la spécialité s'est ouverte. Cela n'aurait pas suffi, mais cela aurait au moins été une amorce.

1024 : « *Surtout que la répartition pourrait être meilleure. Dans certaines académies, il y a des heures pour avoir des postes et il n'y a personne d'affecté... Alors qu'il y a des académies où ont été nommés plusieurs collègues sans heures de NSI à pourvoir.* »

IGL : Oui, mais pourquoi ne peut-on pas changer d'académie ?

1024 : « *Oui, c'est un mystère que j'essaie de résoudre avec le ministère. Et le changement de discipline, ce n'est pas non plus évident. Pour l'instant, j'hésite car quand on change de discipline, on est considéré comme stagiaire la première année et ensuite on passe au mouvement. S'il y a un poste dans mon lycée, je veux être sûr de l'avoir. Et certaines académies le font, en donnant des points. Mais il n'y a pas de règle nationale, ce qui est aberrant. Et il faudrait que les nommés dans un lycée où il n'y a pas d'option NSI soient assurés qu'après avoir fait un an uniquement en SNT, ils enseigneront l'année suivante en première NSI, puis en terminale l'année suivante.*

Est-ce qu'il y a beaucoup de recrutés qui vont ensuite aller enseigner en BTS ou classe préparatoire ? Et si oui, est-ce que c'est pris en compte dans le nombre de postes, et aussi concernant le niveau des recrutés ? »

IGL : Ce que j'en sais, c'est que le recrutement est d'abord pour les lycées. Après, il peut y avoir des gens qui vont démarrer en lycée et qui ensuite vont passer en classe préparatoire. Il va sans doute y avoir quelques cas à la rentrée, mais cela reste des singularités. Les classes préparatoires sont plutôt assurées par des agrégés.

En fait, je n'ai aucune idée de qui est affecté où. On ne me communique pas cette information. Alors que j'aimerais bien savoir où vont les gens qu'on a recrutés. J'essaie d'obtenir des informations via les moteurs de recherche. Certains recrutés publient cette information.

1024 : « *Comme il y a très peu de postes, j'ai l'impression qu'ils placent les gens dans des académies et c'est ensuite à l'académie de trouver un poste. Il y a aussi la question des titulaires du DIU. Ce n'est pas évident de retirer les heures à quelqu'un qui s'est investi les années précédentes. Et les mutations se font dans la discipline d'origine. Il faudrait poser les choses à plat et je pense qu'il y a de la place pour tout le monde.* »

IGL : Oui, mais pour optimiser, il faut une vision globale. Or j'ai l'impression que c'est fait plutôt localement.

1024 : « *Quelle sera la capacité des recrutés à s'adapter aux nouveaux concepts, aux technologies ?* »

IGL : Le programme de NSI est très large, mais reste principalement sur des fondamentaux. Et je dirais que ces fondamentaux ne vont pas trop évoluer. Il y a aussi les évolutions technologiques et comment on les utilise dans l'enseignement. Ça, ce n'est pas forcément évident.

S'il y a un changement de programme et par exemple que l'on dise que le langage de base, ce n'est plus Python, mais un langage assez différent, il faudra accompagner les enseignants. Je pense que c'est important. Cet accompagnement, il pourra se faire par des formations universitaires, la mise en place de cours en ligne... Mais il ne faudra pas faire cela à la dernière minute. Il faudra anticiper pour laisser aux enseignants une année pour se préparer. Il faudra donc anticiper sur deux ans.

1024 : « *Au lycée, il y a rarement de grosses révolutions dans les programmes.* »

IGL : Oui, on va rester sur les fondamentaux. Après, les enseignants peuvent vouloir enseigner de nouveaux outils que les élèves vont être amenés à utiliser. Mais là, c'est à chacun de s'autoformer dessus et d'arriver à faire les bons liens pédagogiques, ce qui n'est pas forcément évident. C'est vrai que dans le supérieur, on remet souvent en cause nos cours, peut-être plus que dans d'autres disciplines, comme les mathématiques par exemple.

1024 : « *Oui, en mathématique, il y a des évolutions liées au programme, mais en informatique, il y a aussi l'évolution des technologies. Mais je ne pense pas que ces évolutions soient trop nombreuses au niveau du lycée, à part quelques évolutions liées au programme. Par exemple, il est possible que l'informatique soit enseignée plus tôt. Il va y avoir bientôt une réforme du collège, il est possible que quelque chose soit prévue. Mais c'est un grand mystère...* »

IGL : C'est vrai qu'au niveau du recrutement, l'adaptabilité est difficile à évaluer.

1024 : « *Que peut-on dire de la mixité des candidats ?* »

IGL : Je n'ai pas regardé précisément les résultats pour 2022. Mais cela semblait ressembler aux années précédentes. Sur le CAPES, il y a un peu moins de 25 % des inscrits qui sont des femmes. On a une chute au niveau des présents aux écrits. On tombe à 18 ou 19 %. Pour les admis, on est entre 20 et 22 %. C'est donc un peu moins que les inscrits, mais plus que ceux qui se sont présentés aux écrits.

1024 : « *Et cette année, le major est une femme ?* »

IGL : Non, pas cette année, contrairement aux années précédentes, la première femme est en 6^e position. Mais après, on en a pas mal en tête de liste. On en a une en 6^e, une en 8^e, une en 10^e, 14^e, 15^e, 17^e, 21^e...

1024 : « *Et pour la composition des jurys, est-ce que vous faites attention à ce qu'ils soient tous mixtes, est-ce qu'il y a parfois des jurys d'hommes, de femmes ?* »

IGL : Sur le jury, dans sa globalité, il y a au moins 40 % de femmes. C'est réglementaire. Dans les commissions d'oraux, qui comptent trois personnes, j'essaie qu'il y ait toujours au moins une femme et dans certaines, il y en a eu deux. Cette année, pour le deuxième oral, avec les contraintes de cette épreuve, il y a eu parfois quelques jurys, pas beaucoup, où il y avait trois hommes. Mais j'ai vraiment essayé d'éviter cela dans la mesure du possible.

1024 : « *Pour revenir sur les 20 % d'admis, ça me paraît pas mal car à Bordeaux, en licence, on est souvent sous les 10 %. On arrive à remonter autour des 20 % en master grâce aux candidates étrangères qui sont souvent nombreuses. Mais je trouve que 20 % de femmes admises, c'est bien.* »

IGL : Oui, ce n'est pas extraordinaire, mais je trouve que c'est honorable par rapport à la proportion de femmes réellement présentes au concours. Et vraiment sans coup de pouce. On n'a pas cherché à favoriser quoi que ce soit. Déjà, à l'écrit, on ne favorise rien puisque les copies sont anonymes. On pourrait dire qu'à l'oral, on pousse un peu plus, mais j'ai vraiment eu l'impression que les jurys n'avaient pas besoin de faire cela. Autre point positif, les femmes sont globalement très bien classées. On a une majorité de femmes dans la première moitié du classement. Mais si on en veut plus, il faudra qu'il y en ait plus qui s'inscrivent et se présentent.

1024 : « *Il n'y a toujours pas de CAPES interne ?* »

IGL : Non. Mais il me semble qu'il y a une règle qui dit qu'il faut que le CAPES existe au moins depuis 5 ans.

1024 : « *D'accord. Et cette règle existe également pour l'agrégation interne. Pour le CAPES, cela ne paraît pas trop poser de problème vu que la discipline n'existe pas depuis longtemps. Par contre, pour l'agrégation, cela pourrait permettre à des enseignants certifiés d'autres disciplines qui se sont investis dans l'informatique d'obtenir une promotion.* »

IGL : Ce que je ne sais pas, c'est si le CAPES interne réglerait le problème de perdre son poste si on change de discipline.

1024 : « *Non, si on obtient le CAPES interne, on passe au mouvement. Et puis, ce n'est pas comme en mathématique. En NSI, il y a peu de vacataires. Et j'ai aussi le cas d'un collègue de math qui a passé le CAPES NSI. Et pour le poste qu'on lui propose, il n'y a que 4h de NSI. Donc il va refaire des maths... Ou alors il y a un*

poste à 2h30 de chez lui... Et le vécu du jury ? Est-ce que les membres sont contents ? Est-ce qu'il y a une bonne ambiance ? »

IGL : Oui, j'ai l'impression que cela se passe plutôt bien. On est un petit jury. C'est sans doute plus facile à gérer. Que ce soit à l'oral ou à l'écrit où on corrige en binôme, j'ai l'impression qu'il y a des complémentarités qui marchent bien. Il y a des collègues universitaires qui se sont très bien entendus avec des collègues du secondaire, des certifiés qui s'entendent très bien avec des agrégés. Quand on a fait les oraux, je n'ai pas senti de problème majeur. Après quand on préside, il faut penser à plein de choses et je ne suis donc pas toujours à l'écoute ou en train de regarder comment se sent le jury. Mais dans tous les cas, il n'y a pas de problèmes majeurs qui me sont remontés. On demande des retours aux gens qui ont corrigé les épreuves écrites et à ceux qui ont fait passer les épreuves orales. On a essayé de prendre en compte la plupart des remarques et d'améliorer les choses petit à petit. Ces retours sont très importants pour le directoire. Donc pour le moment, je pense que ça va.

1024 : « *Et le directoire, il est composé de quelles personnes ?* »

IGL : On est quatre. Le vice-président est Jean-Marie Chesneaux, le secrétaire général est Antoine Crouzet, et le secrétaire général adjoint est Raphaël Augris, qui va partir l'année prochaine.

1024 : « *Qu'est-ce que tu souhaiterais garder à tout prix et qu'est-ce que tu souhaiterais changer au plus vite ?* »

IGL : Ce que je trouve bien, c'est que le jury fonctionne bien. Les gens font le job. On n'est pas obligé de courir après les membres pour les corrections, jamais personne n'arrive en retard à l'oral.

Après, ce qui n'est pas facile, ce sont certaines contraintes imposées par le ministère, par exemple de devoir rendre les sujets d'écrit fin octobre alors que les épreuves ont lieu fin mars. Cela demande une grosse anticipation. Nos délais sont parfois raccourcis par rapport à certains délais administratifs qui semblent longs. Mais je n'ai pas forcément tous les éléments pour comprendre ces besoins de délais.

Autre chose pas facile à gérer, c'est quand le ministère me demande de faire un prévisionnel pour les oraux alors que je n'ai pas le nombre de postes. Or le nombre de candidats retenus est capé par 2,25 fois le nombre de postes. Du coup, c'est difficile de savoir combien de jours cela va durer.

L'organisation des oraux n'est pas non plus facile car le ministère ne donne pas de lieu. Il faut se débrouiller pour trouver un lieu. Si c'est une université, il faut faire une convention avec le rectorat et cela peut prendre beaucoup de temps. Ça a été un long cheminement durant lequel il a fallu trouver des appuis. Ce sont des choses que je changerais bien pour les rendre un peu plus fluides.

1024 : « *Qui fait les sujets ?* »

IGL : C'est forcément des membres du jury, à qui on demande. Mais les sujets sont anonymes. Ce qui fait toujours un peu peur quand on préside un jury, ce sont les fuites éventuelles. C'est stressant.

1024 : « *Et la présidence participe aux oraux ?* »

IGL : On peut. Mais moi, je ne le fais pas car on n'est pas beaucoup au directoire et il y a beaucoup de travail à côté. Il faut accueillir les candidats et on a pas mal de vagues qui arrivent en même temps. Le matin de 8h à 14h, on est souvent à accueillir des candidats pour leur expliquer comment cela va se passer. La première journée, il y a toujours pleins de problèmes à régler. Et comme c'est moi l'interface avec l'université, c'est moi qui connaît les gens et qui règle. Il y a le suivi informatique. Je trouve qu'il est difficile de faire partie d'une commission d'oral. Par contre, ce que j'ai fait cette année tous les jours sauf le dernier, c'est d'aller assister aux deux commissions d'oral pour voir comment cela se passait.

1024 : « *Est-ce qu'elles sont publiques ?* »

IGL : Normalement oui. Sauf que l'année dernière, on ne l'a pas fait à cause des règles Covid. Cette année, les règles Covid étaient allégées. On aurait dû ouvrir au public, mais j'ai mal dimensionné la demande de surveillants, et du coup, je n'avais pas les surveillants pour accueillir et s'occuper des visiteurs. Quand je m'en suis rendu compte, il était trop tard, et donc j'ai décidé de ne pas ouvrir au public. L'année prochaine, je ferai plus attention à cela. Mais c'est toujours pareil : on m'a demandé le prévisionnel des surveillants en novembre. Ce n'est pas évident de prévoir la situation sanitaire l'année d'après.

1024 : « *Et le public, c'est qui ? Des futurs candidats ?* »

IGL : Oui, ça peut être des futurs candidats, des préparateurs au CAPES. Ça peut aussi être des collègues. Je sais qu'en maths, on ne peut pas venir comme cela, il faut s'inscrire, avec un nombre de places limitées, car les salles ne sont pas non plus très grandes. Or, on n'avait pas mis en place un tel système d'inscription. Et je ne regrette pas qu'on ne l'ait pas fait. Car à Lyon, et aussi ailleurs, il y a eu une remontée de cas Covid. Moins il y avait de brassage, mieux c'était. L'année prochaine, on essaiera vraiment de faire mieux. J'ai bien noté dans mon prévisionnel qu'il faudra prévoir les surveillants pour les visiteurs. Il faut qu'on rode un système pour les accueillir.

1024 : « *Pour terminer, des choses à rajouter ?* »

IGL : Je voudrais rappeler que les candidats qui se présentent à l'oral doivent s'être préparés : avoir lu la liste des leçons, avoir consulté le rapport de l'année précédente...

C'est une très bonne expérience. Je suis contente de l'avoir fait, de recruter des gens sur cette discipline. On a des gens très bien qui sont restés et cela, j'espère que cela va donner une bonne impulsion par la suite. Après, je fais encore une session et ensuite j'arrête. Je pourrais rester dans le jury, mais j'ai d'autres engagements.

1024 : « *Est ce que le futur président est connu ? Il y a une possibilité de tuilage ?* »

IGL : C'est en discussion. Il faudra que le futur président soit a minima dans le jury, voire dans le directoire pour tout voir.

1024 : « *Cela peut être une présidente ?* »

IGL : Ce n'est pas clair. Il me semble qu'il y a une alternance homme/femme, comme il y a une alternance universitaire/inspecteur d'après ce que j'ai compris.

1024 : « *Donc là, on peut en faire des déductions ?* »

IGL : Oui, mais cela ne me plaît pas trop. Si on part sur une femme universitaire et derrière un homme inspecteur, cela veut dire qu'on aura toujours des femmes universitaires et des hommes inspecteurs. Je trouve cela un peu bizarre. Il faudrait que je vérifie dans quelle mesure ce sont des contraintes fortes. Je crois que dans les concours de la fonction publique, il doit y avoir une alternance homme/femme tous les ans. Mais il y a des exceptions, comme dans nos concours où on n'alterne que tous les quatre ans si le président fait quatre ans. Chez les inspecteurs, il y a quelques inspectrices, mais peu qui s'occupent de l'informatique.

1024 : « *C'est forcément une inspectrice générale ?* »

IGL : Non, je ne pense pas. Je pense que cela peut être une inspectrice d'académie. Je connais d'autres CAPES, notamment en arts plastiques, où ce sont des inspectrices d'académie qui ont présidé. Il faudrait relire le guide du président, que l'on reçoit chaque année, et qu'il faut commencer par lire. Et je m'y réfère assez souvent.

Un élément important dont je n'ai pas parlé, c'est le gestionnaire du concours. C'est quelqu'un qui est à la DGRH, qui fait tout le suivi administratif du concours. Actuellement, c'est Madame Trois-Poux. Ce sont des personnes importantes, pour le respect des dates limites, ne pas se tromper... C'est quelqu'un avec qui j'interagis assez souvent.

1024 : « *C'est la personne qui gère les convocations, les missions pour les membres du jury ?* »

IGL : Oui. Pour les missions, c'est un peu compliqué car elles sont faites par les rectorats. Chaque membre va faire sa mission avec son rectorat. Mais c'est elle qui fait les ordres de mission, qui dans l'outil qui est utilisé, va dire « ok pour la mission ». Elle doit avoir un outil global où elle peut dire au rectorat si c'est bon ou non. C'est elle qui fait la publication des jurys, qui valide le prévisionnel, qui récupère les résultats et les publie, qui met tout en forme, qui fait les circuits de signatures nécessaires. C'est une personne très importante.



Entretien avec Sylvie Boldo, présidente de l'agrégation d'informatique

Olivier Baudon¹ et Charles Poulmaire²



Sylvie Boldo est directrice de recherche à INRIA Saclay et membre du laboratoire Méthodes formelles de l'université Paris-Saclay. Elle a été nommée présidente de l'agrégation d'informatique, créée à la rentrée 2021.

O. Baudon, 1024 : « Est ce que tu peux te présenter ? »

Sylvie Boldo, SB : Je m'appelle Sylvie Boldo. Je suis directrice de recherche à INRIA et à l'université Paris-Saclay. J'ai fait beaucoup de vulgarisation scientifique depuis mes jeunes années de chargée de recherche. J'ai fait des *podcasts*, écrit des articles, j'étais dans le comité d'Interstices³. J'ai également écrit des articles pour Binaire⁴. Je suis adhérente de la SIF depuis le tout début. J'ai vu les évolutions. J'ai participé à un mooc Informatique et création numérique (ICN). Ensuite je suis passée DR avec diverses responsabilités à INRIA. En juin dernier, on m'a proposé de présider l'agrégation d'informatique. J'ai beaucoup hésité parce que c'est un gros boulot. J'ai fini par laisser mes responsabilités INRIA et me lancer dans l'aventure. Ça fait un an à peu près que je fais cela. Avec le répertoire de l'agrégation, on a beaucoup travaillé. Et là, on a fini la première session. En recherche, je fais de l'arithmétique à

1. Université de Bordeaux, LaBRI.

2. Professeur de NSI dans l'académie de Versailles, président de l'Association des enseignantes et enseignants d'informatique de France (AEIF).

3. <https://interstices.info>.

4. <https://www.lemonde.fr/blog/binaire>.

virgule flottante, c'est-à-dire comment les ordinateurs calculent, les problèmes d'arrondis, les dépassements de capacité. Je fais aussi de la preuve de programme et de la preuve formelle en Coq, avec des aspects « logique » et « certitude », avec notamment des applications en formalisation des mathématiques. Ce qui m'intéresse, ce sont les programmes des mathématiciens appliqués : « est-ce qu'ils sont corrects ? », est-ce que l'on peut prouver qu'à la fois la partie « calculs et arrondis » et la partie « mathématique » sont correctes ? Au niveau recherche, cela permet d'être un peu plus sûr de ce que l'on affirme.

1024 : « *Et ton parcours ?* »

SB : J'ai fait les classes préparatoires. Je suis rentrée à l'ENS Lyon où j'ai décidé d'arrêter les mathématiques, même si j'en ai refait plus tard. Je me suis tournée complètement vers l'informatique. J'ai fait une thèse de 2001 à 2004 sur la preuve formelle de propriétés en arithmétique flottante. J'ai fait un rapide passage au NIA et à la NASA aux États-Unis. Je suis revenue en 2005 où j'ai été recrutée comme chargée de recherche à INRIA Futurs à Saclay. J'ai soutenu mon habilitation en 2014 et je suis passée directrice de recherche en 2017. Un an après, je suis devenue déléguée scientifique adjointe du centre de Saclay, un peu l'équivalent d'un VP recherche. Ce sont des responsabilités relativement lourdes. Je les ai laissées en juin 2021 pour prendre la présidence de l'agrégation d'informatique.

1024 : « *Qu'est-ce qui a motivé le fait de faire de la vulgarisation ?* »

SB : C'est quelque chose que j'ai fait très tôt. Je participais déjà à la fête de la science pendant ma thèse. Le fait d'être chercheuse et pas enseignante-chercheuse me laisse plus de temps que les collègues et j'ai décidé de consacrer ce temps à la diffusion de l'informatique. À l'époque, ce n'était pas enseigné du tout. Les gens avaient une vision un peu éthérée de l'informatique et donc moi, cela m'intéressait de leur montrer ce que c'était réellement, comment cela marche, etc. J'ai donc passé beaucoup de temps à créer, modifier, animer des ateliers, pour leur montrer. Si je peux citer une collègue : Marie Dufлот-Kremer, j'aime beaucoup l'informatique débranchée. Pour les gens, l'ordinateur, c'est l'ordinateur. Je leur montre que je fais de l'informatique avec des clous, des bouts de ficelle... Je trouvais cela intéressant de montrer, notamment aux enfants, collégiens, lycéens la vraie informatique, ce que l'on fait. Non, l'ordinateur n'est pas magique. Cela fait partie de mes conclusions habituelles : l'ordinateur, ce n'est qu'un outil, un tas de ferraille. Ce n'est pas magique, cela ne fait que ce que vous lui demandez de faire. Si vous lui demandez n'importe quoi, il vous sortira n'importe quoi ! C'est quelque chose qui m'a animée pendant longtemps, et puis, l'informatique est arrivée au lycée, en enseignement. C'était chouette et je me suis dit : « mon boulot est terminé ». Et puis on m'a demandé « tu ne veux pas aider à recruter les enseignants ? ». Et j'ai pensé que si je n'avais plus mes responsabilités

au sein d'INRIA, je pouvais consacrer du temps à recruter de bons enseignants pour enseigner l'informatique.

1024 : « *Tu dis : recruter de bons enseignants. Qu'est-ce qui se cache derrière « bons enseignants » ?* »

SB : C'est multi-critères évidemment.

1024 : « *Je voulais évoquer le fait que le programme est sorti avant la formation des professeurs. C'est pour cela qu'il y a eu le DIU EIL⁵. Le CAPES est arrivé après les programmes et c'est pour cela qu'il y a une cohorte d'enseignants issus d'une autre discipline. La plupart ont passé le DIU EIL. Je voulais avoir ton avis sur cela, la durée de la formation...* »

SB : Il y a deux aspects : le recrutement actuel et le recrutement passé. Le ministère a créé la spécialité NSI alors qu'il n'y avait pas d'enseignant. On a donc formé des professeurs par ce moyen. C'est quelque chose où la communauté s'est beaucoup impliquée. Globalement, les enseignants ont beaucoup travaillé. Il faut saluer ce travail. Mon avis, qui n'engage que moi, c'est que la formation était forcément courte car les professeurs étaient déjà en train d'enseigner. Cela a conduit à des situations qui sont un peu hétérogènes. Il y avait des professeurs qui étaient déjà sensibilisés au sujet. D'autres étaient un peu plus éloignés de la discipline. La formation n'a pas forcément tout couvert et donc ils peuvent sans doute être encore un petit peu limites. Certains auraient sans doute besoin d'être formés un peu plus.

1024 : « *Je suis d'accord. Cela a duré cinq semaines, y compris parfois pendant les vacances. Cela dépendait des académies. La formation a été différente dans chaque académie, de niveau différent. Il n'y a pas eu de reconnaissance de l'institution. On s'est aussi beaucoup auto-formés, entre autre grâce au forum NSI, avec 3000 utilisateurs, dont des membres du supérieur.* »

SB : Ce que je veux dire, c'est qu'ils ont beaucoup travaillé, sans compensation. Mais la situation est un peu hétérogène. Certains n'avaient besoin de rien, d'autres avaient besoin d'aide sur certains sujets et d'autres rament encore un peu.

1024 : « *J'ai participé au DIU sur l'académie de Bordeaux. Et quand on a vu le programme, on s'est dit qu'aucun d'entre nous ne serait capable de l'avoir, en raison de la largeur du programme. C'est vrai que c'est aussi une différence entre les enseignants de lycée et ceux du supérieur, qui sont plus spécialisés sur leur domaine de recherche, même si on essaie parfois de s'ouvrir à d'autres domaines. Au niveau de la première session à laquelle j'ai participé, on avait majoritairement (entre 40 % et 50 %) de professeurs de mathématique, pas mal aussi de professeurs de sciences de l'ingénieur, et c'est vrai que chez eux, et je le constate aussi au sein de mon groupe*

5. Diplôme inter-universitaire Enseigner l'informatique au lycée.

IREM, on voit une différence. Ceux qui viennent de math sont plus branchés algorithmique et programmation, ceux qui viennent de SI aiment bien travailler sur tout ce qui est réseau, robotique, communication... On a eu aussi des profs de physique et aussi une prof de SVT. »

SB : SVT, c'est un classique car avec la réforme du lycée, ils ont perdu en nombre d'heures. Il y a beaucoup de profs de SVT qui font SNT. Et donc le DIU, c'était pour les enseignants déjà en place. Maintenant, il y a aussi les nouveaux enseignants. Je laisse Isabelle parler du CAPES. Il y a l'agrégation qui s'est ouverte cette année. Il y a une chose qui n'existe pas encore, mais ce serait bien que ce soit mis en place, c'est l'agrégation interne.

1024 : « *Oui, nous souhaitons en parler. Cela permettrait entre-autre de valoriser des enseignants qui ont été certifiés dans une autre discipline. »*

SB : Le ministère ne l'a pas encore créée, peut-être parce que le CAPES est trop récent. Je pense qu'il y a des professeurs qui enseignent NSI depuis plus longtemps que le CAPES et que ce serait bien de reconnaître leur investissement. Cela résoudrait au moins partiellement le problème d'hétérogénéité. Ceux qui enseignent très bien peuvent enfin avoir de la reconnaissance en devenant agrégés d'informatique. Et ceux qui n'y arrivent pas auront un signal comme quoi il faut se former un peu plus. Je trouve que ce serait vraiment un très bel outil pour gérer cela.

Actuellement, on a un certain nombre de certifiés d'autres disciplines, qui enseignent NSI et qui se sont présentés à l'agrégation externe. Je ne sais pas si certains l'ont obtenue. Obtenir l'agrégation interne a aussi l'intérêt de garantir qu'ils sont devenus informaticiens.

1024 : « *Peut-on parler du type d'épreuves qui ont été proposées ? »*

SB : On avait trois épreuves écrites début mars 2022. Une première épreuve, qui s'appelle *composition d'informatique*, est formée d'un certain nombre d'exercices. On avait des exercices assez variés, qui visent à couvrir des pans du programme : du système, de l'arithmétique flottante, de la logique, du réseau. Le but, c'est de vérifier que ce sont des informaticiens complets. Cette épreuve dure 5 heures. La deuxième épreuve fait 6 heures. Elle s'appelle *Étude d'un problème informatique*. C'est une épreuve assez généraliste qui portait, cette année, essentiellement sur l'algorithmique et la programmation. C'était sur une jolie structure de données pour représenter de très très grands entiers. La troisième épreuve, qui fait également 6 heures, est plus particulière car il y a deux options. Il y a une option *Étude de cas informatique* qui, cette année, était focalisée sur du génie logiciel avec le problème des jeux d'échecs. On a même eu un *tweet* de la fédération française des échecs qui saluait le sujet ! Le deuxième sujet porte sur les fondements de l'informatique. Cette année, il portait sur des problèmes de compilation et d'optimisation de registres.

1024 : « *Pourquoi il y a un choix dans la troisième épreuve ? »*

SB : Je suis arrivée en tant que présidente après que la maquette avait été faite. Je ne suis donc pas intervenue sur cette décision. Le but, c'est d'avoir des informaticiens complets et de ne pas avoir un seul type de candidat. Cette possibilité de choisir permet d'avoir une plus grande variété dans le recrutement. On peut avoir des gens qui sont plus génie logiciel, architecture, réseaux, par rapport à des gens qui sont plus informatique fondamentale. Cette option permet d'élargir notre vivier. J'ai notamment été contactée par des gens qui sont ingénieurs dans le privé. Ce sont des gens qui, si on leur avait dit qu'ils étaient obligés de passer une épreuve d'informatique fondamentale, ne seraient pas venus. Mon idée, c'est que l'informatique est une discipline large, ce qui est bien montré par le programme de NSI. Si on veut que tout le monde y ait sa place, il faut avoir un peu de largeur sur les épreuves. On a eu à peu près un équilibre des candidats sur les deux options.

1024 : « *Au niveau de la construction des épreuves, as-tu participé ? Comment cela se passe ? Qui fait cela ?* »

SB : Quand je suis arrivée, il y avait seulement une description des épreuves, ce que j'ai fait, c'est ce qui s'appelle le programme complémentaire. C'est-à-dire en plus des programmes de NSI et des prépas MPI et MP2I, qu'est-ce que l'on rajoute. On a rajouté un petit peu. L'idée, c'est d'en rajouter pour qu'ils en sachent un petit peu plus que les élèves, qu'ils aient un peu de recul pour répondre aux questions. La construction de ce programme complémentaire a été faite avec un groupe de travail. Et donc, on a ajouté quelques points afin de faire un ensemble cohérent. Car dans certains cas, les programmes se sont arrêtés sur des points pour rester raisonnables ou raisonnablement évaluables. Il n'y a pas de gros ajouts dans le programme complémentaire, il s'agit juste de rajouter un peu de compléments sur divers sujets.

Ensuite, à partir des programmes et du programme complémentaire, il a fallu incarner les épreuves. C'est-à-dire « En vrai, qu'est-ce que l'on fait ? ». On l'a fait, le plus rapidement possible, pour que les candidats et les formateurs sachent à quoi s'attendre et on a sorti les sujets zéro pour toutes les épreuves. À peu près en parallèle, on a écrit les vrais sujets pour 2022. Les sujets ont été écrits par des membres du jury.

1024 : « *J'ai discuté avec un collègue spécialiste des méthodes formelles et de la sûreté de fonctionnement. Je ne sais plus si c'était sur les sujets zéro ou les vrais sujets. Mais on a trouvé qu'il manquait un peu d'informatique théorique. Par exemple, il n'y avait rien sur les graphes.* »

SB : Il y a dans le jury des gens compétents sur ces sujets, que ce soit du supérieur ou des enseignants de prépas. Mais on ne peut pas tout couvrir sur les sujets. Je ne voulais pas une agrégation avec que de l'informatique fondamentale. C'est pour cela qu'il y a du génie logiciel, du réseau, du système... C'est volontaire qu'il y ait de tout et il y aura de tout tous les ans. Ce n'est pas l'option D de l'agrégation de

mathématique. Et des graphes, il y en avait dans le sujet 3B : des jeux sur les graphes. Et dans le sujet zéro, dans l'épreuve 2, il y avait de l'ordonnancement et des graphes. Il y a certes des choses dans les programmes qui n'étaient pas dans les sujets cette année parce que l'on ne peut pas tout mettre.

1024 : « *Concernant l'oral : pourquoi, quel type d'épreuve ? Qu'est-ce que vous évaluez ?* »

SB : Ils ont passé les épreuves écrites en mars. On a corrigé leurs copies avec double correction. Ensuite on a fait une réunion d'admissibilité, où on a choisi le nombre de candidats que l'on verra à l'oral. Cette année, on avait 55 personnes admissibles, dont seulement 4 femmes. Tous ces gens ont été convoqués à l'admission, qui s'est déroulée au lycée Paul Valéry à Paris entre le 16 et le 24 juin : trois sessions de trois jours. Là encore, ils avaient trois épreuves : leçon, modélisation et travaux pratiques avec respectivement 4, 4 et 5 heures de préparation et pour tous et une heure d'oral devant le jury.

Je vais maintenant décrire les épreuves.

La leçon d'informatique : on avait sorti en octobre, vers la Toussaint, la liste des leçons. Cette année, pour 2022, il y avait 29 leçons qui couvrent tous les programmes de lycée et de classes préparatoires. Les candidats tirent au hasard deux sujets et ils ont 4 heures pour préparer la présentation d'un des sujets au choix. Ils préparent un plan de trois pages qui est photocopié et donné au jury, avec un développement. Ils présentent le plan pendant 10 minutes, le développement pendant à peu près 20 minutes. Et après, il y a une séance de questions pendant le reste du temps, donc environ 30 minutes.

Modélisation : on leur donne un document en rapport avec leurs connaissances du programme, mais qui va plus loin dans une direction. En exemple, le sujet 0 de la modélisation portait sur la bio-informatique. L'idée, c'est qu'ils vont présenter ce sujet et ensuite ils vont pousser dans une des directions du sujet. Ils sont obligés de programmer un petit peu. Il faut qu'ils s'emparent d'une question éthique, sociétale, environnementale, économique ou juridique. Dans tous les sujets, on leur a mis une piste sur une de ces thématiques. Donc ils présentent la modélisation d'un problème informatique, soit sur l'informatique, soit sur une autre discipline, ils font une petite démonstration informatique et ils présentent une des dimensions des thématiques pré-citées. C'est une épreuve qui est intéressante car elle est moins « travaillable » que l'autre. Pour les leçons, tout est connu à l'avance alors que là, ils ne sont pas forcément dans leur cœur de métier. Mais cela permet de vérifier qu'ils savent un peu de tout. On cherche vraiment à recruter des informaticiens complets.

Travaux pratiques de programmation : il y a 5 heures de préparation, ce qui est long pour les candidats. Ils ont un sujet et ils doivent programmer un certain nombre de choses. Et après, ils ont une heure pendant laquelle ils présentent leur travail. C'est très intéressant de voir leur présentation du code, la façon dont ils ont codé, ce qu'ils

ont fait comme tests, etc. Et c'était intéressant car cela nous a donné des présentations qui étaient souvent très pédagogiques. C'est très original comme épreuve. C'est celle qui m'inquiétait le plus et en fait, cela s'est très bien passé. Les candidats nous ont fait de superbes exposés.

Pour revenir à la question initiale : qu'est qu'on évalue ? On évalue à la fois l'aspect pédagogique : est-ce qu'ils sont capables de parler à une classe, de bien utiliser le tableau, de tenir leur timing. On évalue aussi bien sûr leurs compétences disciplinaires. Est-ce qu'ils connaissent les contenus du programme ? Est-ce qu'ils savent ce qu'est un graphe, un algorithme de routage... Ce sont essentiellement ces deux aspects : pédagogie et connaissances, qu'on évalue.

1024 : « *Je pense que les questions sociétales, que ce soit l'écologie, les aspects éthiques... sont des points importants qui risquent de prendre de l'ampleur au niveau de l'informatique en général ?* »

SB : Quelque part, l'idée, c'est d'être sûr qu'ils se sont posé ces questions. Suivant les sujets, on a eu des questions qui étaient soit éthiques, soit environnementales... Ça dépendait des sujets. Mais tous les sujets cette année avait une piste. C'était quelque chose de relativement nouveau, on s'était donc engagés à mettre une piste dans tous les sujets, que les candidats ne soient pas complètement démunis. C'est quelque chose sur laquelle on pourra réfléchir à terme. Mais pour cette année, on n'a pas voulu les prendre en traître. Mais je pense que c'est important de l'évaluer.

1024 : « *Oui, ce sont des sujets qui aujourd'hui commencent à arriver dans les programmes, au niveau de la licence. Au niveau de l'éthique, ce sont des questions que l'on se pose. Je ne sais pas s'il y existe un enseignement spécifique.* »

SB : C'est important que les personnes que l'on recrute pour enseigner l'informatique pendant 40 ans se soient posé ces questions là. Le fait de l'avoir mis dans les programmes et de le tester systématiquement pour tous les agrégés fait qu'ils sont obligés de s'emparer de ces questions.

1024 : « *Et parmi ces questions, est-ce qu'il y a des questions qui portent sur la sous-représentation des femmes dans l'informatique, les biais que l'on peut avoir dans notre enseignement ?* »

SB : Cela ne fait pas partie du programme. Donc cela ne fait pas partie des questions que l'on s'est posées. Mais je pense que les membres du jury sont sensibilisés. Quand on a fait les admissibilités, je me suis rendu compte du nombre de femmes, qui était relativement faible. À l'admission, sur les quatre femmes admissibles, trois ont été admises. Et je tiens à dire qu'on n'a pas fait du tout de discrimination positive : elles étaient solides scientifiquement et pédagogiquement, elles ont eu de très bonnes notes. Ce sont des questions qui nous agitent, mais le recrutement à l'agrégation, c'est trop tard. C'est aussi pour cela que je faisais de la vulgarisation quand j'étais

jeune. C'est les histoires de rôle modèle. Regardez : je suis une femme, je fais de l'informatique et je suis heureuse. Cette année, on a deux majors *ex æquo* qui sont un homme et une femme. Et ils étaient vraiment excellents tous les deux.

1024 : « *Et après ces épreuves, il y a eu 23 reçus ? Et peux-tu préciser l'origine des candidats ?* »

SB : On en a 20 en liste principale et 3 en liste complémentaire. La liste principale, ce sont les personnes prises immédiatement sur les 20 postes à pourvoir. Après, il va y avoir les affectations. La liste complémentaire, le ministère peut appeler ces personnes dans l'ordre ; c'est pour cela que l'ordre de la liste est très important : pour combler des besoins dans certaines académies. S'ils sont effectivement appelés, ils auront un poste d'agrégé d'informatique.

La plupart viennent de préparations à l'agrégation. Il y avait trois préparations qui étaient ouvertes cette année : Rennes, Paris et Lyon.

1024 : « *Il me semble que la SIF a regardé les résultats et que sur les 20 reçus, il y avait 17 normaliens. On peut donc supposer que ce sont des gens qui vont continuer en thèse et qu'ils ne vont pas forcément prendre les postes derrière.* »

SB : Effectivement, on a pas mal d'étudiants qui sont issus des écoles normales. Historiquement, les écoles normales ont vocation à former des enseignants, donc ce n'est pas choquant. Et dans les autres agrégations, il y a aussi un taux de normaliens qui est important. Cela ne me surprend pas. Si on avait eu 30 places au lieu de 20, on aurait sans doute eu des profils un peu plus variés.

1024 : « *Le risque que je vois, qui était déjà présent quand il y avait l'option informatique à l'agrégation de mathématique, c'est que ce sont des gens qu'on ne va pas forcément voir dans les lycées. Ils vont plutôt s'orienter vers des carrières de chercheur.* »

SB : C'est une vraie question : est-ce que ces gens-là vont prendre les postes ? Effectivement, si on regarde l'agrégation de maths, une partie ne vient pas car ils vont faire une thèse. Mais sur la masse, ce n'était pas important. Là, on a effectivement des anciens élèves de l'ENS, mais aussi certains qui sont plus âgés. Ils ont eu une vie entre-temps, ils changent de voie et ceux-là vont probablement prendre les postes. Mais c'est une vraie question de savoir combien de ces personnes seront en poste en classe préparatoire ou en lycée l'année prochaine. Mais je n'ai aucune visibilité dessus. J'aimerais bien que ce soit 20, ce ne sera probablement pas le cas. Mais je ne vais pas leur refuser l'agrégation parce qu'ils ne vont pas enseigner tout de suite.

1024 : « *Oui, je suis d'accord. C'est plus par rapport au nombre de postes. Si sur les 20, il n'y en a que 10 qui prennent les postes...* »

SB : Oui c'est une vraie question. Mais on n'est pas en régime permanent. C'est une première année, on est donc en régime transitoire.

1024 : « *Je pense en particulier aux classes préparatoires : il y a un vrai besoin d'avoir des personnes compétentes.* »

SB : Oui, mais il faut aussi des personnes compétentes au niveau lycée.

1024 : « *Au niveau du CAPES, la première année, sur les 30 admis, il y en a 12 qui ont démissionné la première année. C'est un peu le problème : lorsqu'on rentre dans ce métier, il y a d'autres choses à faire : on enseigne, il y a plein de papiers à remplir etc. Le problème, c'est que ces jeunes se retrouvent avec un métier, une mutation peut-être non voulue quelque part. Ils le savent au départ. Mais ils peuvent être dans des situations qui les forcent, pas forcément dès la première année, à démissionner. La formation en informatique, à ce niveau, permet à quelqu'un de vouloir autre chose dans le privé.* »

SB : C'est sûr que l'on a des problèmes de vivier. Tous ces gens qu'on a recrutés, avec leur très bon niveau, pourraient partir dans le privé avec un salaire bien plus intéressant. Quand on voit le niveau du concours, ce qu'on leur demande de faire et le niveau des salaires, on a des problèmes d'attractivité. Cette année, j'étais contente, j'avais beaucoup de candidats. Mais c'est sûr qu'à terme, ce serait bien que nos agrégés et certifiés soient heureux dans leur métier, qu'ils soient là où ils ont envie, qu'ils n'enseignent pas que SNT...

1024 : « *Oui, il faut en parler. Est-ce que tu n'as pas peur que le nombre de candidats s'écroule au bout d'un moment ?* »

SB : Disons que les problèmes d'affectation et comment ils sont reçus, c'est un problème plus générique que celui de l'informatique. C'est sans doute sensible en informatique car c'est facile d'aller faire autre chose. Mais c'est un problème qui dépasse l'agrégation d'informatique et le travail de sa présidente. Mais c'est vrai que ce sont des considérations importantes. On a envie qu'ils restent. Ils sont tellement bien que j'ai envie qu'ils restent dans le métier, qu'ils enseignent pour de vrai. Mais j'ai peu de pouvoir là-dessus.

1024 : « *Après, le statut d'agrégé est quand même intéressant, en particulier par rapport aux certifiés, si on compare les salaires, le nombre d'heures... D'où l'intérêt de l'agrégation interne. Ce n'est sans doute pas aussi attractif que le privé, mais c'est quand même mieux. Et par rapport aux épreuves, on se confronte après au métier. Il y a parfois un saut. C'est pour cela qu'il est important qu'aux épreuves d'oral, il y ait des aspects liés à l'enseignement. Il ne faut pas juste former des informaticiens, mais aussi former des professeurs.* »

SB : Il y a un point que je souhaitais aborder : avec le jury, on a fait beaucoup d'efforts de communication cette année. J'ai passé beaucoup de temps à communiquer et à donner les informations au fur et à mesure, car comme c'était une première édition, les gens ne savaient pas à quoi s'attendre. On a donc sorti aussi tôt que possible,

même si c'était plus tard que ce que l'on souhaitait, le programme complémentaire, la liste des leçons, les sujets zéro pour toutes les épreuves et pour l'oral, on a sorti ce que l'on a appelé des éléments, à destination des candidats. D'habitude pour une agrégation, on regarde le rapport de l'année précédente, qui dit comment cela s'est passé, ce qu'il faut faire, pas faire... Mais là, comme on n'avait pas de précédent, on a écrit un document qui disait ce que l'on attendait des candidats. On a fait beaucoup d'efforts pour donner le maximum d'informations aux candidats, notamment ceux qui ne suivaient pas une préparation à l'agrégation, pour que tout le monde soit au même niveau d'information. On a également fait sur le site de l'agrégation une foire aux questions avec un petit formulaire pour que les gens puissent poser leurs questions. Je ne voulais pas qu'il y ait de canal privilégié et que tout le monde soit à égalité au niveau des informations. En particulier, les préparations qui avaient auparavant préparé à l'option D de l'agrégation de mathématique avaient un avantage, en particulier sur les épreuves un peu similaires, par exemple la leçon. Je voulais que ceux qui n'étaient pas dans le système aient quand même leur chance, qu'ils sachent ce qu'on attend d'eux.

1024 : « *C'est bien de montrer tout ce travail de préparation de l'agrégation. C'est un travail important, dont on n'a pas forcément conscience, avec toute une équipe derrière.* »

SB : Oui, c'est vrai qu'il y a eu un gros travail d'incarnation de la maquette, c'est-à-dire à partir du programme, qui fait cinq lignes, sortir un sujet qui correspond à ce que l'on veut. C'est effectivement un travail de savoir ce que l'on attendait comme niveau, comme longueur. Ce sont des questions qui sont effectivement compliquées.

1024 : « *C'est un travail d'équipe ?* »

SB : C'est un travail d'équipe bien sûr, avec le directoire et tout le jury, dont la liste est connue⁶. Il y a 29 personnes.

1024 : « *Qui choisit les membres du jury ?* »

SB : C'est moi. Ce sont les gens qui ont rédigé les sujets, corrigé les copies, qui ont fait les sujets d'oral et qui ont interrogé à l'oral. Il y a un sous-groupe : un directoire, qui correspond dans les universités à un bureau. Le directoire est composé de la présidente, des vice-présidents : Georges Da Costa et Guillaume Hanrot, et un secrétaire général : Jean-Marie Chesneaux. Ces gens-là, c'est moi qui les ai choisis pour leurs compétences variées et le fait de bien m'entendre avec eux. Ce sont les gens qui ont beaucoup travaillé depuis un an sur l'incarnation des épreuves : qui fait les sujets, qu'est-ce que l'on fait, l'organisation pratique. Ce sont vraiment les gens qui ont géré tous les aspects.

6. https://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/agreg_externer/77/6/a2022_agregation_externer_sectionInformatique_1424776.pdf.

1024 : « *Quel est le rôle de la présidente de jury ?* »

SB : Formellement, la présidente choisit les gens qui écrivent les sujets. Évidemment, j'ai fait cela avec le directoire. Elle préside aussi dans le sens où c'est moi qui ai géré les groupes de travail : il y avait celui sur le programme complémentaire et celui sur les leçons. L'organisation pratique a été gérée par le directoire : qui fait quoi, quand, les dates des épreuves, où se met-on ? Qui fait les sujets, que met-on dans les épreuves... C'est donc moi qui choisis les membres du jury, du directoire et à quel poste.

1024 : « *La présidente est nommée pour combien de temps ?* »

SB : Au plus quatre ans. Les membres du jury peuvent être renouvelés tous les ans. Ils ne peuvent pas rester au même poste plus de quatre ans et comme je ne veux pas un renouvellement complet dans quatre ans, je vais faire des ajustements. Il y a un certain nombre de choses où il fallait avoir vécu une édition pour savoir comment cela se passe, qui fait quoi... Cette année était un peu un saut dans l'inconnu. On avait prévu beaucoup de choses, et on n'a pas eu tant de surprises que cela, on s'est quand même bien débrouillés.

1024 : « *Et donc pourquoi penses-tu avoir été choisie ?* »

SB : Le plus souvent dans les agrégations, la présidence est en alternance entre quelqu'un issu des universités et un inspecteur général. Pourquoi moi ? Je ne sais pas. Je pense que j'avais quelques bons critères : avoir fait de la vulgarisation, être allé dans des lycées, savoir ce qu'est un collégien ou un lycéen. J'ai aussi participé dans mes jeunes années à l'agrégation de maths, option informatique (option D). Donc je sais ce que c'est qu'une agrégation, même si je n'avais pas de responsabilité à l'époque, j'étais simple membre du jury, mais cela donne un peu d'expérience sur ce qui s'y passe. Je pense aussi qu'être chercheuse me permettait de consacrer du temps à cette activité, plus qu'un enseignant-chercheur. Sur cette année, le directoire a beaucoup travaillé. Et j'avais la volonté d'y passer le temps qu'il fallait pour lancer cette édition, ce qui je pense était le critère principal. Il a fallu des gens qui travaillent beaucoup, et ce fut le cas des membres du directoire.

1024 : « *Il y a une particularité de l'informatique, c'est que les choses changent très vite, par rapport à d'autres sciences. Est-ce que le niveau de l'agrégation assure que les enseignants sauront s'adapter aux futurs technologies et concepts ? Par exemple si un langage fonctionnel est introduit au niveau du lycée... même si je sais qu'il existe des formations pour former les enseignants.* »

SB : C'est une bonne question et ma réponse c'est : « *Même pas peur !* ». Je ne suis pas du tout inquiète là-dessus car quand on regarde les programmes, ils sont méthodologiques. C'est-à-dire qu'effectivement, ce qu'on leur apprend, ce sont des

concepts. Qu'est-ce qu'un langage impératif, un langage objet, un langage fonctionnel. Et si après, il faut qu'ils se forment sur la dernière bibliothèque web à la mode ou le dernier langage à la mode, ils ont les concepts. Donc ils n'auront plus que des problèmes de syntaxe. Je n'ai pas du tout d'inquiétude là-dessus. Je vais donner un exemple personnel : en juin dernier, je ne savais pas programmer en Python. Comme les langages au programme sont OCaml et Python, qui sont utilisés au lycée et en classes préparatoires, je me suis mise à Python et je n'ai pas eu de soucis, car je connaissais suffisamment d'autres langages de programmation et les concepts nécessaires. Bon, parfois j'oublie les « : » à la fin des « if ». Mais c'est juste de la syntaxe. Si on décide par exemple de rajouter un langage comme PHP, avec tout ce qu'ils connaissent, ils n'auront pas de soucis.

1024 : « *Pour les concepts, je comprends. Mais il y a aussi la question du temps. Par exemple, j'ai beaucoup programmé en Java, en particulier des interfaces graphiques. Là, ils ont à nouveau tout changé il y a deux ou trois ans et j'ai laissé tomber car je n'ai plus le temps. Est-ce qu'il est prévu que les gens aient du temps pour se former, même si c'est de l'auto-formation ?* »

SB : Je ne suis pas inquiète à court terme car les programmes sont récents. Ils ne vont pas être changés tout de suite. Parce que c'est compliqué de changer des programmes. Si les programmes changent beaucoup, il faudra qu'ils se forment. Ce que je vois aujourd'hui, c'est par exemple ceux qui font des pages web avec leurs élèves en lycée, ils peuvent avoir envie de faire autre chose que ce qu'ils ont appris parce qu'il y a un truc qui est devenu à la mode. Mais ça, ce n'est pas forcément beaucoup. Si les programmes changent beaucoup, il faudra effectivement que les gens se forment et on en reparlera à ce moment-là. Pour l'instant, je n'anticipe pas de changement rapide des programmes.

1024 : « *Oui, en lycée, il n'y a jamais de grand bouleversement des programmes et on n'est pas professionnalisant. Même si le langage est Python, on n'en fait pas des spécialistes de Python. Il ne faut pas oublier que les élèves sont de grands débutants. Cela induit une autre question : ce serait bien que l'informatique apparaisse avant et cela, c'est un autre problème. Le risque que l'on a, c'est qu'on a parfois des élèves qui en font depuis longtemps et qui ont déjà un certain niveau. Mais ce n'est pas gênant non plus : on discute, on échange. C'est un enseignement qui est un peu différent d'un enseignement classique. Le fait de travailler sur projet permet aussi d'apprendre les uns des autres.* »

SB : On a un peu d'informatique au collège dans les cours de mathématiques et de technologie. Mais avoir des vrais cours d'informatique avec des enseignants bien formés serait bien mieux.

1024 : « *Dans ce qui s'est passé, qu'est-ce que tu souhaites garder et qu'est-ce que tu souhaiterais changer au plus vite ?* »

SB : Quelque part, je trouve que cela s'est quand même très bien passé. On n'a pas eu de gros problème. Il y a eu une coupure majeure de Renater pendant les oraux. Et comme on était sur notre propre réseau sans accès à Internet, il n'y a pas eu de problème. Ce que je veux garder : le jury était vraiment super. Les épreuves sont bien. Elles nous permettent vraiment d'évaluer des choses différentes. La leçon, c'est vraiment le cours magistral, c'est pédagogique, disciplinaire... Les travaux pratiques nous donnent aussi des informations très intéressantes sur comment ils programment, leur façon d'appréhender la programmation : usage de tests, comment ils arrivent à présenter cela. La modélisation va les chercher sur des thématiques sur lesquelles ils ne sont pas forcément à l'aise : on les voit travailler sur des thématiques qu'ils n'ont pas choisies. Je trouve que ce sont des épreuves qui sont bien complémentaires, qu'il faut garder.

Ce que je vais faire aussi cette année, c'est donner les informations plus tôt. En 2022, on a souvent réalisé les choses à la dernière minute. Notamment les sujets zéro d'oral et les éléments pour les candidats pour les oraux, on les a sortis en avril-mai pour des oraux en juin. J'aurais aimé les sortir plus tôt, mais on n'a pas réussi, parce que le jury avait besoin de discuter, d'incarner les épreuves. Là, on va sortir en décembre le rapport du jury. Et donc il y aura toutes les informations nécessaires pour tout le monde en décembre. C'est quelque chose auquel je tiens car j'ai trouvé que ce n'était pas sympa vis-à-vis des candidats de sortir les informations aussi tard. On a travaillé autant que l'on pouvait. Mais ce sera mieux pour les candidats car ils auront plus de temps pour se préparer.

Il y a aussi des questions sur l'organisation, la gestion des appariteurs, mais c'était mineur. Tout s'est bien passé, on va essayer d'optimiser un petit peu.

1024 : « *Et à titre personnel, cette expérience, qu'est-ce que tu en retiens de positif et de négatif?* »

SB : Pour le positif, j'ai reçu beaucoup d'aide, notamment d'autres concours et des personnels de la DGRH. Je remercie sincèrement les personnels du lycée Paul Valéry qui ont été super sympas avec nous et avec mes appariteurs ! Très disponibles et accueillants. J'ai récupéré des câbles un dimanche, ils ont graissé des portes pour éviter les grincements... Cela s'est bien passé aussi grâce à eux.

Je suis très fière du résultat, de ce qu'on a fait. Ça s'est très bien passé, à la fois humainement et au niveau du résultat. Concrètement, je suis prête à mettre n'importe lequel de ces agrégés devant mon enfant : j'ai un fils en seconde qui va faire NSI l'année prochaine.

Personnellement, ça a été fatigant. Ça m'a pris beaucoup de temps et d'énergie. Les oraux, c'était neuf jours à la suite, y compris les week-ends, avec ouverture à 6h30 le matin, et la fin vers 19h30-20h. J'en suis sortie très fatiguée. Mais c'est normal, c'était le jeu. Je pense que l'année prochaine, cela ira mieux car on sera un peu plus calés. C'est une très belle expérience, qui était très importante pour la discipline.

Franchement, je ne l'ai pas fait pour moi, pour mon CV, pour la reconnaissance. Je l'ai fait car je crois que c'est important d'avoir des bons enseignants d'informatique. Ce sont eux que l'on met devant les élèves que l'on récupérera plus tard. Je pense qu'il faut que les élèves soient formés à l'informatique, aux notions de l'informatique, avec une belle science avec des algorithmes, des concepts... Et je pense que le jury dans son ensemble a réussi cela.

Et qu'est-ce que j'ai loupé? J'ai loupé deux trois choses, avec les horaires, les appariteurs... Quelque part, c'était transparent pour le jury et les candidats.

C'était une grande première. J'ai eu beaucoup de retours suite aux épreuves écrites. Beaucoup plus que ce que je pensais. Je me suis rendu compte à ce moment-là que les gens regardaient vraiment. Il y a un vrai enjeu, une vraie importance, car quelque part, c'est l'image de la discipline.

1024 : « *Oui, cela fera partie de notre histoire. Et c'est aussi lié au retard, au niveau international, sur l'enseignement de l'informatique. Il y a une réflexion sur les enseignants : ils vont aller en lycée, en classe préparatoire. Mais cela n'arrive qu'en première. L'enseignement de l'informatique, est-ce que tu le vois en amont.* »

SB : Oui, c'est une question intéressante. Une spécialité au lycée, c'est tellement mieux que rien. Ce que je trouve un peu triste, c'est que la plupart des élèves ne font pas NSI en spécialité. Leur seule rencontre avec l'informatique, c'est SNT en seconde et le programme de SNT en seconde, il est très lié au numérique. Charles disait que ce n'est pas une discipline, c'est un enseignement. Ce n'est pas disciplinaire, c'est plutôt de l'usage d'outils et moi, j'ai été un peu déçue que ce ne soit pas de l'informatique et que donc la plupart des élèves passent au travers de l'informatique. Alors que la plupart d'entre eux vont y être confrontés, l'utiliser... Le fait que la plupart d'entre eux ne sachent pas ce qu'est capable ou incapable de faire un ordinateur, je trouve cela un peu décevant. Ils voient cela comme un outil magique, qui sait tout faire... Je pense qu'effectivement, il faudrait de l'informatique pour tous (ça va nous ramener à je ne sais pas quelle année !) et ça peut aller plus haut. J'ai fait des ateliers de vulgarisation même en primaire, ça passe très bien.

1024 : « *C'est vrai que quand on a fait le programme de SNT, il y avait un objectif particulier, qui était une culture sur le numérique. Et pour moi, il y a une grosse différence entre SNT et NSI. La difficulté, c'est que dans les lycées, quand c'est enseigné par un professeur de NSI, ça peut être aussi négatif dans le sens où il ne suit pas le programme et il fait trop de programmation, parce que ce n'est pas l'objectif de SNT. C'est pour cela qu'on doit se battre dans les lycées, comme NSI n'existe qu'en première, face à toutes ces disciplines qui sont enseignées en seconde et avant. Les professeurs principaux de seconde parfois ne connaissent pas ce qui se passe en NSI. Ils ont leur vision de l'informatique et ils conseillent leurs élèves d'une façon biaisée. C'est pourquoi j'aimerais qu'il y ait un enseignement d'informatique pour tous avant et c'est possible.* »

SB : Moi qui ait vécu SNT de l'intérieur cette année, il y avait un trimestre qui était fait par un professeur d'histoire-géographie et notamment, il y a eu une évaluation qui était un QCM et il fallait donner le pourcentage du chiffre d'affaire de Facebook qui était de la publicité. Les choix, c'était 90, 95 et 98 %. J'ai trouvé la question peu intéressante. Il aurait pu proposer 10, 50 et 98 %. J'ai été un peu déçue par SNT car ce n'est pas ce que moi j'entends par informatique et ceux qui vont en NSI, ils ne savent pas forcément où ils vont.

1024 : « *Effectivement. Il faut aller voir les élèves. Il y a le poids des parents qui est énorme dans leur choix. Il faut à la fois renseigner les élèves et aussi leurs parents. J'ai organisé pour la journée NSI des webinaires avec des chercheuses et je m'aperçois qu'en première, maintenant, j'ai 25 % de femmes. Le côté « aller vers les élèves », proposer des modèles vivants (ne pas se contenter d'Ada Lovelace) : il faut proposer des personnes qui peuvent discuter avec les élèves.* »

SB : Oui, on parlait de rôles modèles tout à l'heure, je suis complètement d'accord avec cela. Je l'ai fait, je continue à le faire, un peu moins car j'ai moins de temps, mais c'est important de leur montrer qu'on existe, qu'on leur parle, qu'on fasse des blagues. C'est vrai que sur le choix des spécialités, j'ai entendu des gens dire : « *Moi, j'ai fait un bac S, donc tu vas faire Math-Physique-SVT* ».

1024 : « *Pour information, au niveau de Bordeaux, on organise les journées MIME : « Moi Informaticienne, Moi Mathématicienne ». Ça a lieu pendant une semaine, quand les lycées sont en vacances et l'université ouverte. On fait venir sur la base du volontariat des lycéens de seconde et de troisième qui viennent de toute l'Aquitaine, qui sont nourries et logées dans des internats de lycées à proximité de l'université. Et il y a des groupes de travail avec uniquement des femmes.* »

SB : On a le même genre de dispositif avec INRIA et Animath auquel j'ai participé. Cela s'appelle les rencontres des jeunes mathématiciennes et informaticiennes (les RJMI). Et c'est organisé avec le concours de Animath que vous connaissez probablement. Et donc j'ai fait des séminaires dans ce cadre très régulièrement. C'est pas mal, même si cela s'adresse à des filles déjà motivées. Cela permet de les conforter dans leur choix.

J'avais encore un chiffre à vous donner : le nombre de candidats. On avait 549 candidats inscrits en novembre. Et 251 se sont présentés à l'écrit. 55 admissibles. Et donc 20 reçus plus 3 en liste complémentaire. Par rapport à d'autres agrégations ou CAPES, on a eu beaucoup de candidats. On a eu des candidats qui étaient vraiment bien. Tous ceux qu'on a pris étaient vraiment bien et il y en avait des vraiment bien en dessous. On avait moyen d'en prendre plus.

1024 : « *Dans d'autres disciplines, c'est tout à fait le contraire. Il y a plus de postes que de gens admis. On pourrait allonger la liste, c'est dommage.* »

SB : C'est un problème de nombre de postes et de demande des académies.

1024 : « *C'est un peu bizarre. On a des heures sans personne pour les assurer.* »

SB : Oui, dans les choses que je n'ai pas comprises, ce sont les affectations et comment ils décident du nombre de postes.

1024 : « *Dans certaines académies, ils ne savent pas qui peut enseigner NSI car on est étiqueté dans une autre discipline.* »

SB : Oui, la gestion n'est pas encore tout à fait adéquate parce que cela s'est fait vite.

1024 : « *Par exemple, moi [CP], je suis inscrit en maths et si je mute, je mute en maths. Je perds tout le bénéfice de mon investissement.* »

SB : Oui, ce sont de vraies questions RH et le ministère doit s'en emparer correctement.

1024 : « *Par rapport au niveau des candidats, j'ai eu l'occasion de discuter avec une personne de la C3I⁷ qui a participé au jury du CAPES de math et qui participe au jury du CAPES Informatique. Il m'a dit qu'au CAPES de math, les oraux consistaient à éliminer les personnes qu'ils ne voulaient pas voir devant les élèves car dès qu'une personne est classée, elle est prise. Alors qu'en informatique, ce n'est pas le cas.* »

SB : C'est vrai que certains concours sont devenus des examens. Nous, c'est un vrai concours. Il y des gens qu'on n'a pas classés et qu'on aurait mis devant les élèves sans problème. On avait des problèmes de riches !

1024 : « *Les dates ont aussi sans doute permis à certains de passer les deux concours : CAPES et agrégation.* »

SB : Oui, mais c'est un concours de circonstances qu'il n'y ait pas eu d'intersection. Les dates ont été imposées par le lycée. Et les candidats avant les oraux de CAPES n'auront pas leur rang, mais auront leur note et la barre d'admission.

Effectivement, c'était bien d'avoir l'agrégation avant et sans intersection, mais je ne sais pas si on pourra faire cela tous les ans. C'est vrai que dans la plupart des disciplines, les gens s'arrangent pour que ce soit le cas. Après, si il y a une intersection, on peut aussi convoquer les gens inscrits au CAPES à une date qui leur permette d'aller à l'agrégation. Là, j'ai tiré l'ordre au hasard, mais je peux m'arranger.

1024 : « *Sinon, les copies sont anonymes, mais pas les oraux. Quand vous voyez les candidats à l'oral, vous connaissez leurs notes ?* »

SB : Le directoire connaît les notes. Par contre, le jury qui examine les candidats ne connaît pas leurs notes, ne sait pas s'ils sont certifiés, leur cursus, pour éviter les biais. Les membres du jury ne parlent pas d'un candidat aux autres car un même candidat est vu trois jours de suite, donc il ne faut pas influencer les membres des

7. Commission inter-irem informatique.

jurys des jours suivants. Après, il y a des choses qui se voient. Quand un candidat est un peu plus âgé, on se doute de certaines choses.

1024 : « *Le jury est mixte ?* »

SB : Je suis obligé d'avoir 40 % de chaque genre. Pour ne rien vous cacher, il est plus difficile de récupérer des femmes que des hommes, car elles sont très demandées, et donc je n'avais pas beaucoup plus que les 40 %.

1024 : « *C'est le même problème pour les jurys de sélection des enseignants-chercheurs. Mais comme le disait Marthe Bonamy dans une interview pour 1024⁸, c'est aussi une façon de rassurer les candidates.* »

SB : Les jurys étaient essentiellement mixtes parce que c'était important. Moi, pour avoir composé le jury, j'ai vécu les stéréotypes : les hommes me disaient oui alors que les femmes doutaient de leurs compétences.

Mais au final, je suis ravie des membres du jury, hommes et femmes !

8. <https://doi.org/10.48556/SIF.1024.19.31>.



Entretien avec Peggy Vicomte, déléguée générale de l'association Femmes@Numerique

Florence Sèdes¹



À l'occasion de sa nomination en tant que déléguée générale de l'association Femmes@Numerique, nous avons rencontré Peggy Vicomte et échangé sur la position de la SIF, le soutien du CIGREF, les projets menés conjointement avec la fondation Blaise Pascal. La tenue de l'assemblée générale 2022 à Paris fut une nouvelle occasion de collaborer à notre cause commune, celles des femmes dans le numérique. Au détour d'une conversation, Peggy Vicomte répond à nos

questions...

Florence Sèdes, 1024 : « Madame la déléguée générale de l'association Femmes@Numerique, qui êtes-vous ? »

Peggy Vicomte, Femmes@Numerique : Issue d'une double formation en management des entreprises et en stratégie de communication, je me suis plongée dans l'écosystème de l'innovation il y a maintenant 18 ans en intégrant le cluster Opticsvalley, créé par Jean Jerphagnon. Pionnier des réseaux de cluster en France, il a ouvert la voie à l'*open innovation* à la française, démarche que j'ai embrassée alors et qui guide encore aujourd'hui ma pratique professionnelle. Mes expériences m'ont

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

conduite à choisir et à m'engager dans l'écosystème du numérique auprès d'entreprises innovantes de la deep-tech dans leur projet de croissance, de jeunes ingénieurs dans leur entrée dans la vie professionnelle, et d'équipes de recherche dans leur approche business de pré-industrialisation.

J'ai découvert un univers éclectique où j'ai eu la chance de croiser des personnes expertes du développement territorial, des hommes et femmes entrepreneurs et investisseurs, aussi bien que des directrices et directeurs de recherche industrielle et académique, ou des scientifiques de renommée internationale, toutes porteuses d'un engagement profond pour leur secteur. Et dès mes premières rencontres et lectures, j'ai su que je serai liée d'une façon ou d'une autre à l'innovation et à la tech pour de nombreuses années !

Rejoindre Femmes@Numérique en 2021 en tant que déléguée générale s'inscrit finalement dans un prolongement naturel puisque issue d'une démarche fédératrice, l'association vise à structurer et amplifier les actions les plus impactantes en faveur d'une meilleure représentation des femmes dans les filières du numérique.

1024 : « *Quel regard portez-vous sur le chemin parcouru par la fondation depuis sa création en 2018 ?* »

Femmes@Numerique : Femmes@Numérique, initiative en faveur d'une meilleure représentation des femmes dans les filières et métiers du numérique, est née en juin 2018 à l'initiative de six associations, le Cigref, Numeum, Talents du Numérique, l'AFMD, la CGE et Social Builder.

Femmes@Numérique se définit comme un collectif et fédère les nombreux acteurs privés, publics et associatifs, afin d'impulser une dynamique, de mobiliser les énergies, de mutualiser les moyens, de soutenir les initiatives les plus impactantes, de partager les solutions et de participer aux réflexions prospectives et aux affaires publiques. Notre démarche repose sur deux leviers d'action : une fondation, regroupant 42 entreprises mécènes co-finçant et accompagnant des projets, et son association de soutien permettant le passage à l'échelle et la pérennisation de la démarche.

Dès sa création en 2018, les personnes engagées dans la fondation, des entreprises mécènes mais également des chercheurs et chercheuses, des personnes représentant l'État et les acteurs du monde associatif, ont tout de suite compris que le passage à l'échelle d'initiatives à fort impact était l'élément clé pour inverser la tendance des courbes. La fondation a ainsi sélectionné des projets impactant et ayant cette capacité de déploiement à l'échelle nationale. En 2021, à partir de ces premiers projets lauréats, pour initier la réflexion et opérationnaliser ce passage à l'échelle, le comité exécutif de la fondation a pris la décision de créer l'association Femmes@Numérique.

Grâce à une production riche et innovante de ressources, six premiers projets lauréats cofinancés par la fondation sont en cours de déploiement sur l'ensemble du territoire par l'association. Ce sont plus de 25 000 élèves qui ont découvert les métiers du numérique et ont été alertés sur les stéréotypes associés.

Les deux structures, fondation et association, juridiquement distinctes, participent chacune à quatre grandes missions — Animer, Amplifier, Déployer et Éclairer — avec pour ambition de répondre à l’urgence de la situation tout en travaillant au développement d’un cadre favorable pour un progrès sur le temps long.

1024 : « *Quelles volonté et perspectives pouvons-nous identifier derrière Femmes@Numerique ?* »

Femmes@Numerique : À l’heure où nous avons besoin de l’engagement du plus grand nombre au sein de notre écosystème, afin de fédérer les efforts et obtenir un impact positif statistiquement mesurable, il ne suffit plus, pour Femmes@Numérique, de dresser des constats.

Pour agir, il est nécessaire de travailler collectivement en organisant les projets en synergie entre associations de terrain, collègues et lycées, écoles, universités et acteurs de la formation, entreprises employeurs, institutionnels, territoires et ministères et de déployer les initiatives les plus impactantes à l’échelle du territoire national. Il est impératif de s’engager sur le temps long et de créer les conditions optimales et durables pour un meilleur accès des femmes aux formations et à l’exercice des métiers du numérique.

Il est également indispensable de penser la sensibilisation aux enjeux et aux débouchés des filières numériques dès les premières étapes du parcours d’orientation scolaire et d’agir sur toutes les étapes à la fois pour ne pas perdre les jeunes filles en cours de route. Le secteur du numérique, dans un contexte de pénurie croissante de compétences, propose les emplois de demain dans une immense diversité de métiers et de secteurs d’activité ; les femmes y ont toute leur place.

Malgré une incontestable progression des femmes dans les filières informatique dans les établissements publics sous tutelle du ministère en charge de l’enseignement supérieur depuis 2019 avec un taux de 16,8 % en 2021/2022, ce taux reste encore très faible (source Femmes@Numérique à partir de données publiques). On constate également une progression positive (+1 %) du taux de féminisation dans les écoles d’ingénieur depuis 2015 mais cette discipline reste largement minoritaire (17,2 % des élèves sont des étudiantes) face à des spécialités telle que la santé, l’agriculture et l’agroalimentaire (59,1 % d’étudiantes) et la chimie, la chimie des procédés et les sciences de la vie (57,3 % d’étudiantes).

Au niveau européen, la France a perdu 2 % de femmes diplômées dans la tech alors que le reste de l’UE ont en moyenne augmenté leur effectif de 6 % entre 2013 et 2017².

Ne tombons pas dans le piège de la *gender fatigue* ! Il est de notre responsabilité collective de mettre en place un numérique responsable et de confiance pour l’intérêt général des générations futures ; et pour ce faire il est nécessaire de proposer des

2. Source eurostat analysée par Genderscan.

formations accessibles à tous et toutes afin de leur apporter les compétences scientifiques, technologiques et numériques qui leur permettront de répondre aux défis économiques, environnementaux et sociétaux auxquelles nous seront confrontés.

1024 : « *Quelles sont vos priorités pour les années à venir ?* »

Femmes@Numerique : À la veille des premières assises de la féminisation des métiers et filières du numérique initiée par Femmes@Numérique et ses partenaires qui se dérouleront le 16 février 2023 à Bercy, la prise en compte de cet enjeu par les pouvoirs publics n'est plus une option. Les freins sont nombreux et les leviers d'actions les plus impactants doivent être intensifiés dans les champs aussi divers que l'éducation, l'orientation, la formation des élèves et des corps professionnels, la reconversion professionnelle, mais aussi l'insertion et l'évolution professionnelle des femmes dans ces métiers.

Ne pas mener dès aujourd'hui une stratégie inclusive forte et volontariste, c'est donc priver les femmes de l'accès à une filière d'avenir et de conditions de travail attractives. Le numérique, tous métiers confondus, c'est 91,3 % de CDI (contre 68,7 % pour les autres secteurs), 72,4 % de cadres (contre 17,7 % dans le reste de l'économie) et 49 300 euros de rémunération brute moyenne (en temps plein)³.

Dans le cadre du plan France 2030, le Plan d'investissement dans les compétences porté par le Haut-commissariat aux compétences (HCC) a permis de revaloriser des parcours de formation à destination de femmes, notamment isolées géographiquement ou en situation de handicap, pour qui le numérique représente un levier d'émancipation professionnelle majeur. Mais il est certain que le levier relatif à la maîtrise des technologies numériques souveraines et sûres sera vain sans un effort national structuré de formation et de mobilisation des compétences nécessaires pour le porter.

Pour coordonner l'ensemble des actions dans un cadre interministériel et sur le temps long, Femmes@Numérique et ses partenaires, défendent l'idée de l'élaboration d'une loi de programmation pluriannuelle d'orientation des compétences, afin de mettre en cohérence les objectifs quantitatifs et qualitatifs de génération des compétences nécessaires avec les moyens dont devra disposer le système académique pour réussir France 2030.

1024 : « *Quelle question ne vous a pas été posée à laquelle vous auriez souhaité répondre ?* »

Femmes@Numerique : Qui peut s'engager ? Chacune, chacun, à sa manière, peut agir pour la féminisation des métiers et des filières du numérique. En devenant mécènes de la fondation, vous contribuez au financement et à l'accompagnement de projets à fort potentiel de déploiement. En adhérant à l'association, vous contribuez

3. Source Talents du numérique

au passage à l'échelle de ces projets et à amplifier, interpeler les forces vives en présence.

En tant qu'entreprises, établissements d'enseignement supérieur, organismes publics et parapublics, organisations professionnelles, associations, fédérations, vous avez la possibilité d'agir à nos côtés pour amplifier les actions de l'écosystème du numérique.

Ensemble, nous révélerons les facteurs clés de succès des actions durables à fort impact, initierons et amplifierons de grands projets collectifs fédérateurs à l'échelle nationale, amplifierons la diffusion des bonnes pratiques et des rôles modèles et participerons aux réflexions prospectives et affaires publiques.

1024 : « *Merci Peggy d'avoir partagé cette vision optimiste, et d'œuvrer, industriels et académiques associés, à réconcilier les filles et le numérique !* »



Une informaticienne élue présidente de Sorbonne Université !

Florence Sèdes ¹



Janvier 2007, une nouvelle session du CNU 27 se réunit à Clermont-Ferrand, accueillie par nos collègues dans la magnifique maison internationale universitaire (MIU). Parmi les personnes nommées, Nathalie Drach-Temam, professeure depuis 2004 à Paris 6 – Jussieu. Première rencontre avec celle qui allait devenir présidente de

Sorbonne Université.

Élue présidente de Sorbonne Université en décembre 2021, Nathalie Drach-Temam succède à Jean Chambaz (2018-2021) : elle est la première présidente de Sorbonne Université... et première informaticienne présidente d'une université.

Après avoir enseigné et mené des activités de recherche successivement à Rennes 1, Paris-Sud et Inria, Nathalie Drach-Temam est spécialiste de conception des processeurs dans la prise en compte simultanée des dimensions matérielle et logicielle.

Elle a monté et dirigé l'équipe Architecture et logiciels pour systèmes sur puce (ALSOC) du laboratoire d'informatique de Paris 6 (LIP6 – Sorbonne Université/CNRS) de 2006 à 2011. Elle a également créé et été responsable du master informatique, spécialité Architecture et conception des systèmes intégrés (ACSI) de

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

2005 à 2009. Elle a porté de nombreux projets nationaux, internationaux, académiques et industriels et a fait partie de réseaux d'excellence et d'experts européens et nationaux.

De 2012 à 2016, Nathalie Drach-Temam a été vice-présidente de l'université Pierre et Marie Curie chargée de l'insertion professionnelle et de la vie étudiante, puis en charge de la formation et de l'insertion professionnelle de 2016 à 2017. Enfin, elle a été vice-présidente recherche, innovation et sciences ouvertes à Sorbonne Université de 2018 à 2021.

En cette période de disette de figures féminines en informatique et en ces temps de désaffection des filles pour les STEM, nous sommes fier de pouvoir féliciter notre collègue, incontournable rôle model et bel exemple à suivre !



L'équation

Gérard Chouteau¹

Sur le camaïeu de bleu de l'écran la petite flèche blanche voletait. Au rythme de ses sauts, les menus, sous-menus et fonctions diverses s'affichaient dans de blancs et étincelants rectangles. Luc appela sa sœur :

— Viens voir !

— Qu'est ce que c'est ? demanda-t-elle... Oh ! Un nouveau logiciel ?

Lui, était tout excité.

— Oui, il y a plein de trucs nouveaux. Regarde.

La petite flèche reprit son vol de papillon. Il tapait son texte au hasard des touches.

— Tu veux souligner ? Hop, tu cliques là. Caractères gras ? Hop. Italique ? Hop. Veux-tu changer de caractères ? Rien de plus facile. Double clic et voilà ! On peut même écrire en *γρεχ*.

Elle regardait, souriant :

— Je ne comprends rien, tu ne me laisses pas le temps de voir.

Sur l'écran, la petite flèche sautillait de plus belle. Il se parlait à lui même :

— Comment fait-on déjà pour déplacer du texte ? Ah oui, je clique là, sur le bloc, ensuite, je déplace la flèche doucement en gardant appuyé. Bon, oui. Non, zut, raté ! Ah, là, maintenant cela marche, as-tu vu ?

Mais, déjà, elle se désintéressait :

— Oui, oui, fit-elle vaguement, un peu ennuyée.

Elle le savait, c'était toujours la même chose, impossible de toucher à son nouveau joujou. Lui, pris à son jeu n'y prêta pas attention, pianotant sur le clavier avec passion :

1. Responsable de la mission PATSTEC pour la région Rhône-Alpes sud, ACONIT. Texte dédié à Luc et Marianne.

— Il y a un éditeur d'équations intégré maintenant, regarde.

Un grand rectangle vierge bordé de bleu apparut sur l'écran. Il entreprit patiemment de le remplir. Caractère après caractère, symbole après symbole, il s'appliquait à construire sa formule, compliquant à loisir l'exercice et commentant pour lui même chacune de ses opérations. Indices et exposants dégringolaient en cascades ou montaient en d'harmonieux espaliers le long de solennels symboles grecs. De grandes racines carrées protégeaient d'immenses fractions sous leurs barres horizontales tandis que des signes \int élançaient leurs lascives volutes entre zéro et l'infini. Marianne maintenant, observait fascinée. L'assemblage de signes et de symboles formait d'élégantes arabesques, comme un mur de mosquée, beau et mystérieux. L'esthétique des signes s'imposait à elle. Il pontifia :

— Einstein disait que si une théorie conduisait à une équation formellement belle, c'est à dire possédant un grand nombre de symétries, elle était très probablement juste. C'est ce qu'il pensait de sa propre théorie de la relativité restreinte.

— Et la tienne l'est elle ?, se moqua-t-elle.

Il se renfrogna, vexé. Haussant les épaules il se remit illico à la tâche. La pièce, silencieuse, ne résonnait que du cliquetis obstiné de la souris. Sur l'écran, pas à pas, s'achevait l'édifice symbolique. De temps en temps, il se reculait sur sa chaise pour contempler son ouvrage, modifiait ici un exposant, là un double indice, ailleurs un symbole grec et soupirant d'aise se remettait à l'ouvrage.

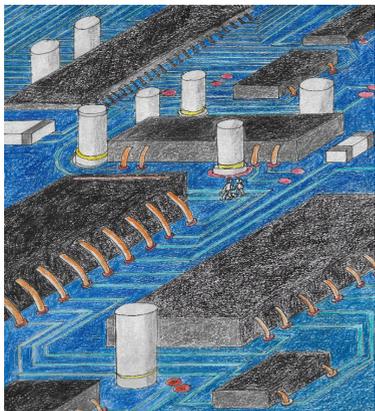
Le travail durait depuis quelques minutes déjà lorsque l'incident se produisit. Il lui semblait que la machine se montrait de plus en plus rétive. Les signes ne se dessinaient plus que laborieusement, comme si une force hostile, mystérieuse issue du plus profond du calculateur s'opposait à ses desseins. Il s'arrêta perplexe. Un virus ? Il n'eut pas le loisir de s'interroger plus avant. L'écran parut soudain se déchirer. Des lignes noires horizontales le barrèrent puis se mirent à onduler. La centaine de touches du clavier était comme paralysée. Il pianota nerveusement au hasard, sans résultat. La machine lui échappait. L'écran finit par s'éteindre. Il leur sembla qu'un murmure angoissé montait du tréfonds des circuits. L'écran se ralluma soudain, vira au bleu profond et laissa apparaître le message :

Erreur système dans l'éditeur d'équations.
Voulez-vous recommencer ?

Ce n'était qu'une fallacieuse promesse d'ordinateur car, malgré toutes les injonctions le calculateur refusait de réagir. Tout ce travail perdu l'indigna.

— C'est trop fort, s'exclama-t-il. Que s'est-il passé ? Je n'ai pourtant commis aucune erreur ! Il faut en avoir le cœur net. Viens !

Il saisit la main de Marianne et avant qu'elle eût pu résister, l'entraîna derrière l'écran. Sa décision avait été rapide et, malgré son air déterminé et sans qu'il se l'avouât, la présence de sa sœur le rassurait. Dans sa plus tendre enfance il agissait déjà de la sorte.



Le passage de l'écran se déroula sans heurts, juste un petit « plop » suivi d'un calme profond. Elle avait juste poussé un petit cri. Celui qu'on pousse lorsque la grande roue après s'être immobilisée un temps tout en haut de sa course s'apprête à plonger. Ils ne ressentaient pas d'angoisse malgré l'obscurité. Tout paraissait serein. L'atmosphère semblait parcourue de souffles légers. Ça et là des lueurs phosphorescentes apparaissaient au loin puis s'évanouissaient. Un battement sourd, régulier et rapide rythmait l'air. Ils s'immobilisèrent, nez en l'air. Qu'était-ce donc ?

— Ce doit être l'horloge interne, déclara-t-il. Notre échelle de temps s'est sans doute modifiée, car on ne devrait pas l'entendre.

Elle leva le doigt sentencieuse et moqueuse.

— C'est la faute à Einstein !

Une large voie s'étirait devant eux et se perdait dans le lointain. Trente-deux bandes métalliques parallèles, brillantes et lisses la parcouraient sur toute sa longueur. Une lueur mouvante semblait marquer son extrémité. La désignant, il décréta :

— Ce doit être là-bas.

Ils s'engagèrent dans cette large avenue, en direction du point lumineux. Ils marchaient depuis quelques battements d'horloge lorsqu'un vrombissement les plaqua soudain violemment au sol. Ils eurent l'impression qu'un énorme insecte les avait survolés. Elle s'était relevé la première.

— Qu'est ce que c'était ?

— Un mot, je crois.

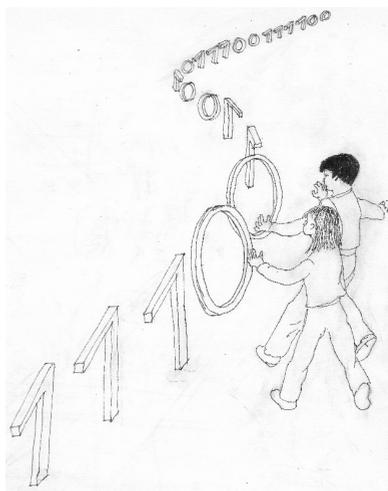
— Un mot ! ?

— Oui, un mot. Un mot de trente-deux bits. Nous devons nous trouver sur le bus de données.

— Il y a des mots dans les bus ?

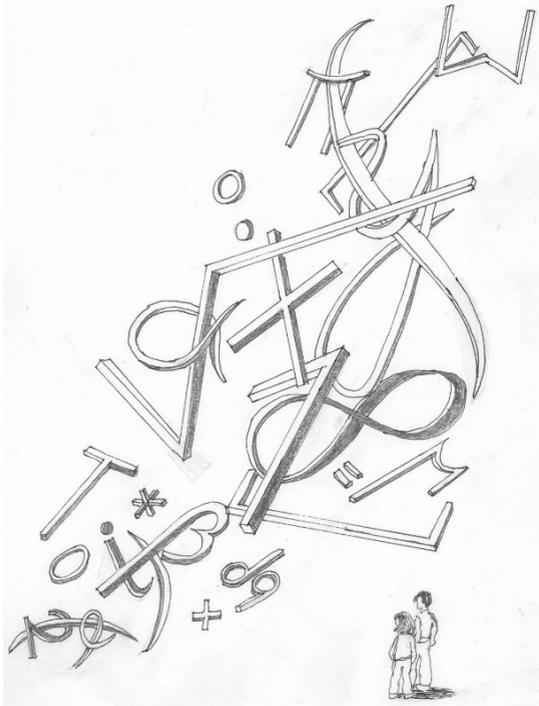
— C'est l'artère principale de l'ordinateur, c'est là que s'échangent les informations entre ses différents composants : mémoires, registres, portes, etc. Viens, il vaut mieux marcher sur la partie isolante de la chaussée.

— Des mots, des portes, des registres, une horloge, curieux endroit !, pensa-t-elle.



Ils continuèrent leur progression. De temps en temps des mots les dépassaient, provoquant un léger souffle mais désormais sans danger pour eux. Ils parvinrent enfin aux abords de cette lueur qui les avait tant intrigués. Ils ne s'étaient pas trompés. Ils étaient bien sur les lieux de l'incident fatal.

La belle construction mathématique gisait devant eux dans un amoncellement de signes et de symboles épars. Aussi loin que portait le regard ce n'était que lettres et chiffres jonchant le sol. Le grand signe d'intégration, tordu, pointait vers le ciel électrique de douloureuses volutes. Plus loin la racine carrée, renversée vers l'avant avait vomi la fraction rationnelle qu'elle abritait. Une pluie d'indices et d'exposants semblait avoir arrosé l'édifice effondré. Une intense activité régnait un peu partout. On remettait de l'ordre dans tout ce chaos. Peu de signes heureusement avaient été détruits. Dans l'ensemble, c'était sans gravité. On dut seulement évacuer un logarithme népé-



rien choqué qui se prenait pour une exponentielle. Classique transfert de personnalité. Néanmoins, il fallait bien en convenir, la belle formule avait vécu.

Ils contemplaient le désastre, consternés. Elle risqua :

— Tu es sûr de n'avoir commis aucune erreur ?

— Je ne vois pas où, dit-il, buté.

Quelqu'un derrière eux grommelait :

— Des chiffres arabes, des lettres grecques, cela ne pouvait pas tenir !

Ils se retournèrent stupéfaits. Un grand X romain, raide, se tenait dans leur dos et observait la scène, dédaigneux. Elle l'apostropha :

— Mais, Romain, sans les grecs que serais tu devenu, et ces arabes, n'ont-ils pas importé le zéro ?

— Qu'ai-je à faire du zéro ? A quoi sert un symbole qui ne désigne rien ?

Marianne s'indigna :

— Sans zéro pas d'infini ! Sans infini, pas de rêve !

Il haussa les épaules, eut une moue de dédain, tourna le dos et s'éloigna, se parlant à lui même :

— Le zéro ! L'infini ! Étranges inventions. Il me semble que le pont du Gard et le Colisée existaient bien sans eux.

On évacuait peu à peu les éléments endommagés de l'équation. L'élucidation des causes de ce drame demanda une enquête sérieuse. On avança diverses hypothèses. Quelqu'un suggéra que l'accident trouvait peut-être son origine dans une défaillance de l'élément différentiel, ici dq , qui supporte généralement toute intégrale bien conçue. En effet, la disposition de certains éléments de l'équation dénonçaient l'ouvrage d'un débutant. Les chevronnés savent que la mise en place de dq est décisive pour la solidité de la construction. Les néophytes, eux, ont plutôt tendance à le considérer comme un élément décoratif et parfois l'omettent, ce qui a toujours de dramatiques conséquences. Il fallut pourtant se rendre à l'évidence, l'hypothèse se révéla non fondée car on trouva l'élément dq solidement fixé à l'emplacement qui lui était destiné.

Finalement, la vérité éclata : une parenthèse manquait qui par son absence avait totalement déséquilibré l'édifice. L'opinion s'indigna de tant de négligence. Un contrôle élémentaire aurait sans aucun doute permis de déceler ce défaut somme toute assez fréquent même chez les plus entraînés des bâtisseurs d'équations. L'émotion fut à son comble quand l'enquête poursuivant son cours montra que parenthèses, accolades et crochets n'étaient pas issus de la même routine. N'y avait-il pas là cause de gâchis et d'erreurs ? Ne pouvait-on fabriquer toutes ces pièces en une seule unité de production et améliorer ainsi sensiblement les synergies ?

Le temps aidant, les passions s'apaisèrent. Ni lui, ni sa sœur n'avait pris part au débat, trop heureux que l'on ne leur demandât point de comptes. Ils décidèrent de rentrer, tout remués encore par les incalculables conséquences d'une malheureuse faute de frappe.

Le retour, ils s'en rendirent compte immédiatement, ne serait pas aisé. L'horloge centrale restant inerte interdisait les communications avec l'extérieur. Luc décida de partir à la recherche de la routine ESCAPE. Ils la trouvèrent sur un bus détourné, bloquée elle aussi. Décontenancé, il contemplait l'agencement des portes élémentaires puis décréta, désignant un petit anneau de cuivre :

— Il faut porter ce point à un potentiel nul. Donne moi la main, pose ton pied sur ce petit plot à ta gauche, non pas celui-là, l'autre, à côté. Bon, ne me lâche surtout pas quand je poserai la main sur cet autre contact. Attention ! Je touche !

Il toucha, tel Cyrano. Le potentiel chut. Il y eut comme un grand souffle silencieux. Ils eurent l'impression de jaillir hors de l'eau et se retrouvèrent dans la chambre un peu égarés. L'écran de nouveau scintillait en bleu. Illico, il s'installa devant la machine magique pianotant sur le clavier :

— Pourvu qu'elle ne soit pas perdue !

Non, elle était bien là, impériale, emplissant l'écran de sa cursive beauté.

$$\frac{1+\lambda}{1-\mu^*} = 2\pi \frac{T}{T_c} \sum_{i=0}^{i=\frac{1}{2}[\frac{\tilde{w}}{\pi T} + 1]} \frac{1}{\left[\frac{2}{\sqrt{\alpha^*}} \int_0^\infty e^{-q^2} \tan^{-1} \left[\frac{q\sqrt{\alpha^*}}{(2i+1)\pi \frac{T}{T_c} + \frac{1}{2\tau^*}} \right] dq \right]^{-1} - \frac{1}{2\tau^*}}$$

Il soupira :

— Nous l'avons échappé belle !



Arithmétique du Bull Gamma 3

Alain Guyot¹



Le calculateur Bull Gamma 3 a été conçu au début des années 50 par une petite équipe d'électroniciens récemment constituée chez Bull, pour se substituer aux calculateurs électromécaniques, comme par exemple la tabulatrice Bull BS 120 et surtout pour répliquer au calculateur IBM 604 commercialisé dès 1948. Le calculateur Gamma 3 n'est devenu un ordina-

teur qu'avec l'extension tambour (1956) qui permettait la fonctionnalité de programme enregistré. Jusque-là ce n'était qu'un calculateur programmable (ce qui était déjà beaucoup!). Il est possible de manipuler un modèle 3D de cet ordinateur sur Internet². Cliquer un organe de ce modèle fait apparaître une fenêtre d'explication du fonctionnement de l'organe. Cet article entreprend d'expliquer les opérations arithmétiques et les mémorisations du Bull Gamma 3.

En ce temps-là, la technologie disponible était le tube à vide (parfois appelé lampe à cause de son enveloppe en verre), inventé en 1906 et perfectionné depuis. Cependant, ce composant avait une durée de vie moyenne assez faible (moins d'une dizaine de milliers d'heures, soit un à deux ans), avec une dispersion importante. La disponibilité entre deux pannes devenait préoccupante ; plus les tubes étaient nombreux, plus

1. Association ACONIT, <https://www.aconit.org>.

2. <https://www.aconit.org/histoire/Gamma-3/Simulateur%203D>.

les pannes étaient fréquentes³. Le choix technique des électroniciens de Bull fut de réduire le nombre de tubes en basant l'essentiel des circuits logiques sur des diodes à pointe et les lignes à retard. Ce choix distingue nettement Bull de ses concurrents, notamment d'IBM, pour la technologie électronique de « première génération ». Outre minimiser le nombre de tubes, il fallait aussi améliorer l'accessibilité aux composants pour remplacer les tubes en panne.

Maintenance préventive

Les tubes sont embrochés et donc faciles à remplacer. Avec le temps, les caractéristiques électroniques du tube se dégradent (*graceful degradation*) par empoisonnement de la couche émissive de la cathode. Plutôt que d'attendre la panne, on va repérer les tubes dont les caractéristiques sont dégradées et les remplacer par des neufs. Pour cela, on diminue la tension d'alimentation de la machine ce qui dégrade les caractéristiques de tous les tubes, les plus chétifs provoquant alors des pannes, ce qui permet de les repérer.

Ordinateur « 1-bit »

Les ordinateurs « 1-bit » ou « en série » ont des chemins de données et surtout une unité arithmétique qui traite un bit à la fois, et donc utilise peu de tubes. L'ingénieur Bruno Leclerc a vérifié que, pour la mémorisation en série, on peut utiliser des lignes à retard « inductance- capacité » qui mémorisent des impulsions codant des bits.

Ces impulsions ont besoin d'être échantillonnées puis remises en forme par des *pulse shaper*. Ces régénérateurs d'impulsion sont pratiquement les seuls éléments actifs du Gamma 3. Après régénération, la ligne à retard est rebouclée.

Mémoires du Gamma 3

Les 15 mémoires de travail de 48 bits du Gamma 3 (total 720 bits soit 90 octets) sont des lignes à retard LC, inductance-capacité, ou encore self-condensateur (cf. figure 1). Les instructions sont dans une mémoire différente.

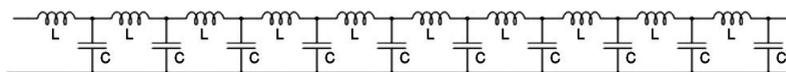


FIGURE 1. Mémoire à ligne à retard

Le temps de parcours d'une ligne à retard est de $172 \mu\text{s}$, soit 48 périodes p de l'« horloge bit » à 280 KHz. De cette horloge bit, on déduit par division une « horloge

3. L'IBM 604 comportait 1 250 tubes à vide, le Gamma 3 seulement 400 (et l'ENIAC, énorme machine décimale contenait 17 468 tubes)



FIGURE 2. a. Bobines et condensateurs — b. Logique à diodes

chiffre » de 70 KHz (on a affaire à du décimal codé binaire, DCB, chaque chiffre décimal étant codé sur 4 bits) et une « horloge nombre ». Sur la figure 4a, on distingue les inductances bobinées et les condensateurs plats d'une ligne à retard. Il y a environ 200 bobines par mémoire, série divisée en 10 blocs de 20 par *pulse shaper*.

Logique du Gamma 3

Les portes logiques du Gamma 3 (cf. figure 3) utilisent un réseau de diodes à pointe au germanium et des résistances. Les diodes évitent la rétropropagation du signal d'une entrée de porte vers une autre entrée. La sortie de la porte se repère par une résistance au milieu des diodes. La résistance donne la valeur par défaut de la porte, c'est la valeur quand aucune diode ne conduit. Cependant le « ET logique » et le « OU logique » ne sont pas suffisant pour constituer une algèbre ; il manque le NOT (inverseur).

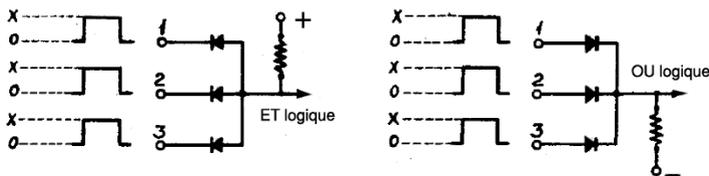


FIGURE 3. Porte ET (\wedge) et porte OU (\vee)

Les diodes au germanium du Gamma 3 sont soudées une à une à la main [11]. Ce travail, qui s'ajoute au câblage de la machine et au montage, également manuel, des autres composants, fait du Gamma 3 un produit très consommateur de main d'œuvre, comme ses concurrents de l'époque. Les diodes subissaient une sévère sélection préalable pour optimiser la fiabilité.

Instructions arithmétiques

Les instructions de l'ordinateur Bull Gamma 3 sont codées sur 4 champs de 4 bits, donc avec 4 valeurs de 0 à 15 : un type d'opération (TO), une adresse de mémoire (AD), un ordre début (OD), un ordre fin (OF).

Valeur de TO	10	11	12	13	14	15
Mnémonique	AN	SN	MR	DR	MC	DC
Opération	+	−	×	÷	×	÷

Le champ AD est l'adresse d'une des 15 mémoires générales M1 à M15 et les deux autres champs OD et OF un complément d'adresse. Pour mémoire voici les temps d'exécution de ces 4 opérations arithmétiques :

- addition (AN) : 17,9 à 23,4 μ s ;
- soustraction (SN) : 20,4 à 26 μ s ;
- multiplication (MR & MC) : 19,6 à 33,2 μ s ;
- division (DR & DC) : 21 à 34,7 μ s.

La mémoire M1 est débanalisée et sert d'accumulateur, la mémoire M2 est son extension. Les instructions $TO = 1, AD = 10$ et $TO = 1, AD = 15$ permettent de passer au mode de calcul binaire ou décimal.

Représentation des entiers

Les entiers sont représentés par des impulsions qui recirculent en permanence dans les lignes à retard. Chaque impulsion représente un bit par sa présence (1) ou son absence (0). Les bits sont de poids 1 2 4 8 10 20 40 80 100 200 400 800 1000... La valeur du nombre $A = a_0a_1a_2a_3a_4\dots a_{47}$ est $\sum_{n=0}^{11} (\sum_{i=0}^3 a_{i+4n} \times 2^i) \times 10^n$ (c'est l'expression d'un entier représenté en DCB sur 12 chiffres décimaux, soit 48 bits).

Addition en série

L'algorithme d'addition en série, chiffre à chiffre, en base 10, est celui qu'apprennent les écoliers en classe préparatoire (CP) vers 5 ou 6 ans.

Additionneur binaire série AO

Sur la figure 4, les bits successifs des deux nombres binaires vont vers E_a et E_b , s est un bit de la somme, E_c est la retenue entrante, r la retenue sortante. Les équations logiques de AO sont $r = \text{majorité}(E_a, E_b, E_c) = (E_a \wedge E_b) \vee (E_a \wedge E_c) \vee (E_b \wedge E_c)$ et $s = E_a \oplus E_b \oplus E_c = (E_a \wedge E_b \wedge E_c) \vee r \wedge (E_a \vee E_b \vee E_c)$. Les deux boîtes hachurées sont des régénérateurs d'impulsion (*pulse shaper*) et T l'horloge bit. Le délai de l'additionneur est de demi-période p environ, auquel s'ajoute le délai du régénérateur contrôlé par l'horloge bit T pour donner un délai de très exactement une période.

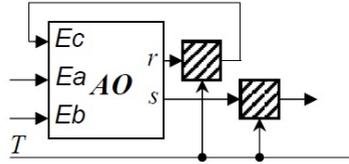


FIGURE 4. Additionneur binaire série

Additionneur décimal série

En « décimal codé binaire », les bits sont regroupés par paquets de quatre pour coder des chiffres décimaux appartenant à l'intervalle $[0, 9]$. Soit s_1, s_2, s_4 et s_8 le paquet de quatre bits de la somme de deux chiffres décimaux, r est la retenue sortante. En base 2, la somme S de deux chiffres vaut $s_1 + 2s_2 + 4s_4 + 8s_8 + 16r$. En base 10, on veut que $S = s'_1 + 2s'_2 + 4s'_4 + 8s'_8 + 10r'$, c'est à dire que la retenue sortante r' soit de poids 10 (au lieu de 16 en binaire). La retenue r' vaut 1 si la somme S est supérieure à 9. L'additionneur décimal est calqué sur l'additionneur série (cf. figure 4) auquel on ajoute le calcul du signal $d = (S > 9)$ et la correction de la somme S de l'addition binaire si d vaut 1.

Calcul du signal $d = (S > 9)$

$S = s_1 + 2s_2 + 4s_4 + 8s_8 + 16r$ est plus grand que 9 si $d = r \vee (s_8 \wedge (s_2 \vee s_4))$ est vrai qui est calculé dans la boîte D de la figure 6. Or s_1, s_2, s_4, s_8 et r sont des impulsions générées séquentiellement (la sortie s de la figure 4) suivant une période p . Pour les utiliser simultanément, on va en décaler certaines dans le temps grâce à de petites lignes LC de retard p ou multiple de p montées en série, puis échantillonner le résultat grâce à l'horloge chiffre.

Correction de l'addition binaire

Le poids de la retenue sortante r est 16 en hexadécimal et 10 en décimal, la différence est 6. Pour conserver la même valeur de S , il faut ajouter 6 à $s_1s_2s_4s_8$ sortant de l'additionneur binaire si d , autrement dit $s'_1s'_2s'_4s'_8 = s_1s_2s_4s_8 + 6$. Cela demande un deuxième additionneur, noté $A0'$, semblable au premier.

Exemple d'addition binaire avec correction décimale

Lors du calcul de $15 + 17$, avant correction, cela vaut $2C$; ce qui est mathématiquement correct car C est en hexadécimal. Pour le rendre décimal, il faut lui retirer 10 et propager une retenue.

Décimal		Binaire			
1	5	0001	0101	Accumulateur 15	
+	1	7	0001	0111	Ajout de 17
=	2	C	0010	1100	$(C)_{16} = (12)_{10}$
+	0	6	0000	0110	Ajout de 6 modulo 16 $(6-16)=-10$
=	3	2	0011	0010	Somme en décimal

Schéma de principe de l'additionneur décimal

Par commodité, les régénérateurs de la figure 4 (carrés hachurés) sont incluses dans les additionneur A0 et A0' (d'où les entrées ET et ET' de l'horloge bit T) de la figure 5. La boîte D reçoit la somme S et la retenue R de A0. Elle reçoit T'' qui est l'horloge chiffre. Elle calcule la nouvelle retenue R'' (qui diffère de R si S > 9), réinjectée dans A0 (avec une porte OU câblée). Elle calcule également S'' qui vaut 6 si R'' vaut 1 et zéro autrement. S'' va vers l'additionneur A0'. G inhibe la retenue à chaque nouveau chiffre. Les boîtes r1, r2 et r3 de la figure 5 sont de petites lignes à retard. L'additionneur introduit un retard de quatre périodes p de l'« horloge bit ». Le dispositif marqué G est destiné à mettre à 0 la première retenue d'un chiffre en inhibant l'horloge bit T avec l'horloge chiffre T'' au début des chiffres.

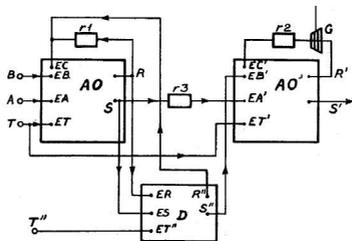


FIGURE 5. Schéma de principe

Schéma détaillé de la boîte D

Avec un peu d'attention, on repère sur la figure 6 les trois portes logiques du calcul de d par les résistances ①, ② et ③. L'horloge chiffre T'' retardée permet de générer l'impulsion du résultat du calcul $s_8 \wedge (s_2 \vee s_4)$ à la fin du calcul de cette expression.

Soustraction décimale série

Le soustracteur décimal est semblable à l'additionneur décimal (cf. figure 5), où on a remplacé les additionneurs binaires A0 et A0' par des soustracteurs binaires. Dans la soustraction décimale, la retenue a un poids négatif et donne le signe

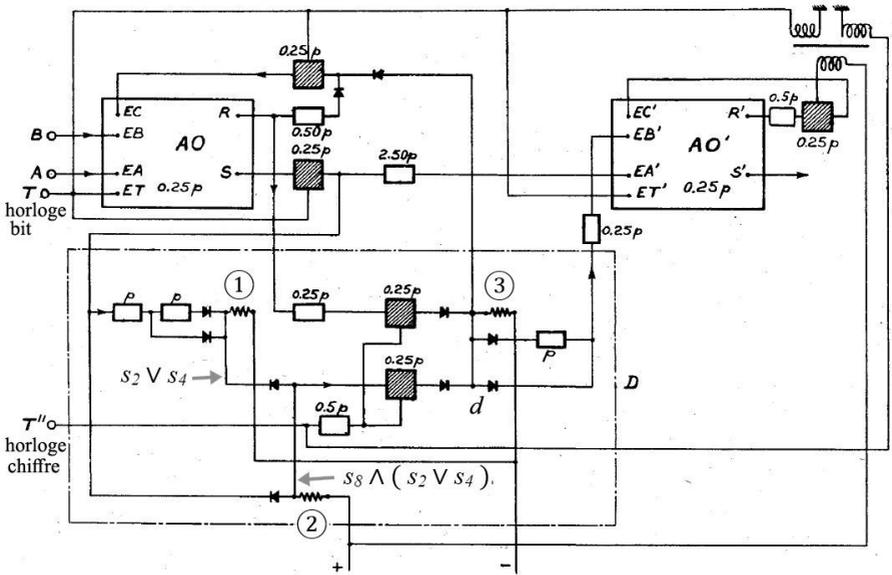


FIGURE 6. Détail de la boîte D

du chiffre décimal en sortie. Ici, on note un chiffre négatif $-x$ par \bar{x} pour ne pas confondre le signe et la soustraction.

Lors du calcul de $25 - 17$, avant correction, cela vaut $1\bar{2}$; ce qui est mathématiquement correct car $1\bar{2} = 8$ mais $\bar{2}$ n'est pas un chiffre décimal car il n'appartient pas à $[0, 9]$. Il faut pour cela lui retirer 6 modulo 16 et propager une retenue $2 - 6 + 16 = 8$.

	Décimal	Binaire		
	2	0010	0101	Accumulateur 25
-	1	0001	0111	Soustraction de 17
=	1	0001	1110	$1110 = -2$ modulo 16
-	1	0000	0110	Soustraction de 6 modulo 16
=	0	0000	1000	Somme en décimal

Représentation signe/valeur-absolue

Les entiers du Gamma 3 sont représentés en signe/valeur-absolue. Le choix de l'opération addition ou soustraction dépend de la différence des signes des opérands. Cependant la valeur du résultat d'une opération peut ne pas être sa valeur

absolue. Si le résultat de l'opération est négatif, un second passage dans le soustracteur va le corriger.

$$\begin{array}{r} 000000001270 \\ - 00000000453 \\ \hline = 00000000817 \end{array}$$

Soustraction correcte (résultat positif)

$$\begin{array}{r} 00000000453 \\ - 000000001270 \\ \hline = 99999999183 \end{array}$$

Soustraction à corriger (résultat négatif, commençant par 9)

$$\begin{array}{r} 00000000000 \\ - 99999999183 \\ \hline = 00000000817 \end{array}$$

Changement de signe du résultat négatif

Schéma de l'additionneur/soustracteur binaire A0

Les régénérateurs d'impulsion (boîtes hachurées sur la figure 7) fournissent le signal d'entrée resynchronisé et son complément (sortie en haut). Ce schéma d'additionneur/soustracteur comporte neuf portes logiques encadrées par des rectangles pointillés. Pour l'analyser, on va lui appliquer les huit combinaisons des trois entrées E_a , E_b et E_c , sous forme de trois vecteurs de 8 bits, et calculer tous les signaux intermédiaires et finalement les sorties S et R sous forme de vecteurs.

Quand $ES = 0$, l'additionneur/soustracteur effectue une addition. Les vecteurs de 8 bits des entrées E_a , E_b , E_c et des sorties S et R sont rangés verticalement dans la table de vérité de la figure 8(a). L'additionneur matérialise l'égalité arithmétique $\Sigma = E_a + E_b + E_c = S + 2R$. C'est un réducteur 3 vers 2.

Quand $ES = 1$, l'additionneur/soustracteur effectue une soustraction (cf. figure 8(b)). Le soustracteur matérialise l'égalité arithmétique $\Sigma = E_a - E_b - E_c = S - 2R$. On observe que la sortie S est la même pour l'addition et pour la soustraction, seule la sortie R est différente.

Chronogramme de l'addition décimale $A + B$

Le tableau ci-dessous note le déroulement dans le temps (de gauche à droite) de l'addition de deux nombres, plus précisément de 1 chiffre de chacun de ces deux nombres. Chaque case dure une période bit p . Seules les informations concernant ces deux chiffres A et B sont notées, les cases laissées vides dans le tableau concernent d'autres chiffres de ces mêmes nombres dans le pipeline. Le bit d est calculé en permanence mais n'est échantillonné qu'une fois par chiffre, quand sa valeur est

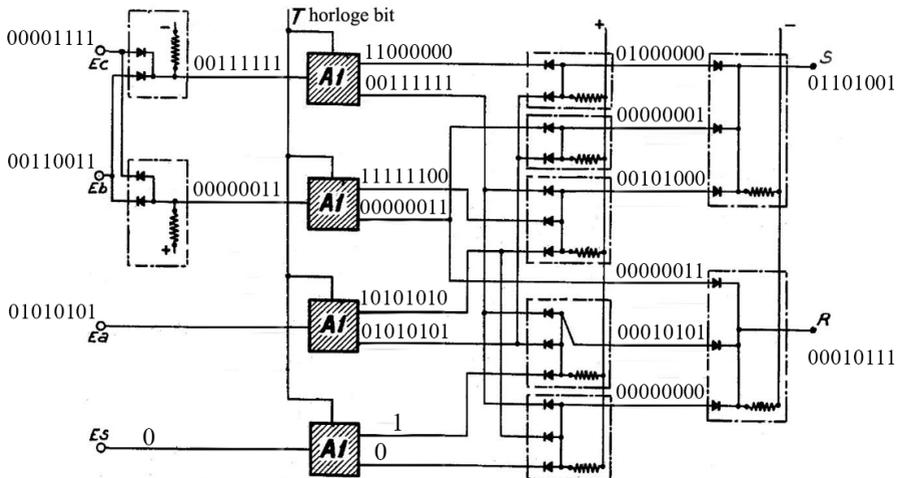


FIGURE 7. Analyse du schéma de l'additionneur/soustracteur binaire A0

E_a	E_b	E_c	Σ	S	R
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	0
1	1	0	2	0	1
0	0	1	1	1	0
1	0	1	2	0	1
0	1	1	2	0	1
1	1	1	3	1	1

(a)

E_a	E_b	E_c	Σ	S	R
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0
0	1	0	-1	1	1
1	1	0	0	0	0
0	0	1	-1	1	1
1	0	1	0	0	0
0	1	1	-2	0	1
1	1	1	-1	1	1

(b)

FIGURE 8. Tables de vérité de l'additionneur (a) et du soustracteur (b)

pertinente, instant marqué par un trait gras, donné par l'horloge chiffre T'' retardée de une période p , d' est une copie de d retardé de p .

Entrée en série de A
 Entrée en série de B
 Addition binaire $S = A + B$
 Retenue sortante de l'addition r
 S retardée de $3p$ pour la 2^e addition
 Échantillonnage $d = r \vee (s_8 \wedge (s_2 \vee s_4))$
 Sortie de la somme $S' = A + B$

a_1	a_2	a_4	a_8						
b_1	b_2	b_4	b_8						
	s_1	s_2	s_4	s_8					
					r				
				s_1	s_2	s_4	s_8		
0			0	0	d	d'	0	0	
					s'_1	s'_2	s'_4	s'_8	

Mémorisation et addition/soustraction

Pour mémoriser, les lignes à retard de 12 chiffres décimaux sont rebouclées (cf. figure 9). Une prise avant le dernier chiffre de chacune des lignes à retard permet d'extraire les chiffres A et B (4 bits). En cas d'addition (respectivement soustraction), le chiffre $A + B$ (respectivement $A - B$), sortant de l'opérateur d'addition/soustraction, prend la place du chiffre A avec le décalage. L'addition ou soustraction commence quand A est le chiffre unité et se termine après le calcul de 12 chiffres (cycle nombre).

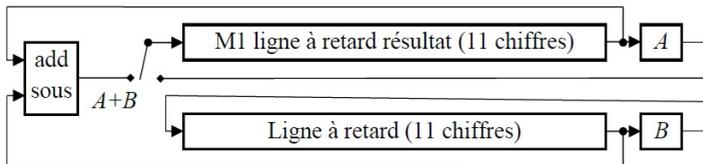


FIGURE 9. Addition ou soustraction de 12 chiffres décimaux

Conclusion

Cet article ne détaille qu'une petite partie du Gamma 3 : l'unité arithmétique, et encore, seule l'addition-soustraction est précisée au niveau composant (il existait également des instructions de multiplication et de division, qui ne sont pas détaillées ici). Mais expliquer l'arithmétique est probablement ce qu'il y a de plus simple.

L'économie de moyens du Gamma 3 est tout à fait remarquable. Cette machine de 900 kilos utilise environ 400 tubes. Le fonctionnement d'un tube est très comparable à celui d'un transistor à effet de champ FET. C'est d'ailleurs par cette similitude qu'est dénommé « grille » l'électrode de commande du transistor FET, bien que les électrons ne passent aucunement entre les barreaux d'une grille comme dans un tube. Le premier microprocesseur, l'Intel 4004, comptait 2300 FET (des MOS canal P), soit environ 6 fois plus d'éléments actifs que le Gamma 3, et encore il n'avait pas la multiplication ni la division.

Le Gamma 3 exécutait environ 5000 instructions par seconde, ce qui était trois ordres de grandeur la performance des tabulatrices électromécaniques qu'il remplaçait, mais deux fois plus lent que le 4004. Au début, le Gamma 3 se comparait très favorablement à ses concurrents directs, l'IBM 604 puis l'IBM 700, cependant dès 1960, IBM sorti son 1401 petit car transistorisé, simple d'utilisation, et de performances comparables au Gamma 3.

Remerciements

L'auteur remercie chaleureusement Pierre Mounier-Kuhn pour ses suggestions.

Références

- [1] US2722375, *Multiplying devices for accounting machines* (Multiplication de tabulatrice), 25/05/1951.
- [2] US2861740, *Electronic adding device* (Addition BCD du Gamma 3), 25/09/1951.
- [3] US2781968, *Addition and subtraction operating device for electric calculating machine* (Addition binaire et BCD du Bull Gamma 3), 05/04/1952.
- [4] US2863604, *Electronic calculator for multiplication and division* (Multiplication et division BCD du Bull Gamma 3), 23/09/1952.
- [5] GB764522A, *Improvements in or relating to electronic computers* (Tableau d'instructions du Bull Gamma 3), 02/06/1953.
- [6] US2795378 *Apparatus for subtracting numbers represented by coded pulses* (Soustraction BCD du Bull Gamma 3), 03/05/1954.
- [7] FR1030308A, Dispositif de multiplication (Multiplication du Gamma 3), 11/03/1953.
- [8] H. Boucher, Masson et Cie, organisation et fonctionnement des machines arithmétiques, 1960.
- [9] Émulateur de l'ordinateur Bull Gamma ET, <https://www.aconit.org/histoire/Gamma-3/Simulateur>, 1952.
- [10] Maurice Geynet, destin d'objets scientifiques et techniques : L'aventure du Gamma 3, <https://www.echosciences-grenoble.fr/articles/destin-d-objets-scientifiques-et-techniques-l-aventure-du-gamma-3-5-10-annee-2018>.
- [11] P. Mounier-Kuhn, PUPS, L'informatique en France, de la seconde guerre mondiale au Plan Calcul. L'émergence d'une science, 2010.



Bilan du prix de thèse Gilles Kahn 2022

Marthe Bonamy et Yann Ponty

Le prix de thèse Gilles Kahn 2022, décerné par la SIF et patronné par l'Académie des sciences, a été attribué à :

DENIS MÉRIGOUX

pour sa thèse « Proof-Oriented Domain-Specific Language Design for High-Assurance Software », préparée à l'ENS Paris et Inria Paris (Prosecco), en partenariat avec Microsoft Research soutenue le 25 mai 2021 au LORIA à Nancy sous la direction de Pierrick Gaudry et Cécile Pierrot.

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

MATHILDE CARON

pour sa thèse intitulée « Self-supervised learning of deep visual representations » préparée au LJK, Université Grenoble Alpes, Inria Grenoble Rhône Alpes, en partenariat avec Facebook AI Research (FAIR).

FLORENT KOECHLIN

pour sa thèse « Systèmes de fonctions holonomes : application à la théorie des automates », préparée au LIGM, Université Gustave Eiffel.

Ces contributions ont été unanimement jugées exceptionnelles par le jury, et sélectionnées à l'issue d'un processus de relectures étalé sur une période de presque trois mois. Elles contribuent à trois domaines distincts de l'informatique : sciences du logiciel pour Denis Mérioux, IA/apprentissage machine et vision pour Mathilde Caron, analyse d'algorithmes, combinatoire analytique et théorie des automates pour

Florent Koechlin. Leurs résultats impactent toutes fortement leur domaine de recherche, et ont des retombées parfois directes sur des domaines distincts.

Plus en détail, la plateforme de soumission des candidatures a été rendue accessible du 15 juillet au 7 septembre 2022. Nous y avons reçu 41 candidatures à la date limites, couvrant un très large spectre, à la fois géographique et thématique en informatique, avec une répartition de 12 candidates sur 29 candidats (29 % de candidatures féminines) essentiellement représentative de la population des doctorantes et enseignantes-chercheuses dans l'informatique française. Parmi les thèses soumises, on constate une forte représentation du domaine de l'apprentissage machine, souvent à l'interface avec d'autres domaines de l'informatique, reflétant à la fois l'attractivité actuelle de la thématique et la concentration actuelle des opportunités de financement d'allocations doctorales.

Chacune des candidatures a fait l'objet d'une évaluation par trois membres du jury suivie de discussions impliquant les rapporteurs et la direction du concours. Elles ont permis de dégager 24 candidatures dignes de l'attribution du prix, ensuite réduites à 10 candidatures suite à des discussions d'interclassement par axe thématique. Les 10 candidatures restantes en lis ont finalement été discutées de façon détaillées par l'ensemble du jury lors d'une réunion le 25 novembre à Paris, culminant par une décision unanime du palmarès ci-dessus.

Le jury 2022 était présidé par Yann Ponty, assisté par Marthe Bonamy. Il était constitué de Mathieu Acher (IRISA, Rennes), Marie Albenque (LIX, Palaiseau), Oumaya Baala (FEMTO-ST, Belfort-Montbéliard), Adrien Bousseau (Inria, Nice), Mathieu Carrière (Inria Sophia, Nice), Gabrielle de Micheli (Loria, Nancy), Thomas Debris-Alazard (Inria Saclay, Saclay), Thomas Degueule (LaBRI, Bordeaux), Jean-Daniel Fekete (Inria Saclay, Saclay), Laurent Feuilloley (LIRIS, Lyon), Rebecca Fribourg (LS2N, Nantes), Laure Gonnord (LCIS, Grenoble), Natalia Grabar (STL, Lille), Amaury Habrard (LHC, Saint-Etienne), Steve Kremer (LORIA, Nancy), Florent Lamiroux (LAAS, Toulouse), Jerome Lang (LAMSADE, Paris), Antoine Limasset (Cristal, Lille), Assia Mahboubi (LS2N, Nantes), Arnaud de Mesmay (LIGM, Marne la Vallée), Marie-Laure Mugnier (LIRMM, Montpellier), Vivien Quéma (LIG, Grenoble), Laurent Réveillère (LaBRI, Bordeaux), Claudia Roncancio (IMAG, Grenoble) et Rémi Watrigant (LIP, Lyon).

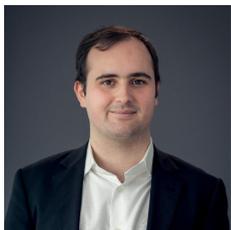
Nous tenons à souligner le niveau, proprement stratosphérique, du concours cette année, qui nous a obligé à écarter de nombreuses thèses pourtant très appréciées par l'ensemble du jury. Nous tenons à remercier l'ensemble des candidats pour la qualité de leurs réalisations, a fortiori dans un contexte de crise sanitaire peu propice à ce premier travail de recherche. Nous remercions enfin l'ensemble du jury pour leur participation, et la qualité de l'ensemble de nos échanges.



Design de langage dédié orienté vers la preuve pour le logiciel critique

Denis Merigoux¹

Cet article est le résumé de la thèse de doctorat² de l'auteur ayant reçu le prix de thèse Gilles Kahn 2022 décerné par la Société Informatique de France.



© Inria / Photo B. Fourier.

La vérification de programmes consiste en l'analyse de programmes informatiques vus comme des artefacts formels, afin de prouver l'absence de certaines catégories de *bugs* avant l'exécution. Mais pour utiliser un cadriciel de vérification de programmes, il faut auparavant traduire le code source originel du programme dans le langage formel du cadriciel. De plus, il est possible d'utiliser plusieurs cadriciels de vérification pour prouver des propriétés de plus en plus spécialisées à propos du programme. Ceci pose un véritable défi au champ de recherche de la vérification de programme, qui a vu ces dernières décennies ses efforts se concentrer dans le perfectionnement de quelques assistants de preuve généralistes (Coq, Isabelle, etc.). En effet, les projets de vérification de programmes dans le monde réel impliquent souvent du code écrit dans des langages non propices à la formalisation et des spécifications ambiguës. Si de nombreux travaux de recherche ont permis d'élaborer des outils très puissants pour prouver la correction de programmes écrits dans ces outils, peu d'attention a été portée à la manière dont on amène les programmes originaux à l'intérieur des outils de vérification. Sur la chaîne de confiance présentée en figure 1,

1. Inria Paris, denis.merigoux@inria.fr.
2. <https://theses.hal.science/tel-03622012>.

cela revient à dire que si les maillons (1), (2) et (3) sont solides, le maillon (4) est généralement peu considéré et peut devenir le cheval de Troie de futurs bugs. Le manque d'attention de la communauté des méthodes formelles porté à ce maillon et à l'encodage correct d'un domaine vers une spécification formelle est justement lié au manque de formalisme et à l'ambiguïté auxquels les experts du domaine sont habitués. Par exemple, un programme informatique appliquant automatiquement le droit possède une spécification extrêmement informelle qui doit d'être interprétée intensivement par des juristes avant d'en tirer quelque chose de formel.

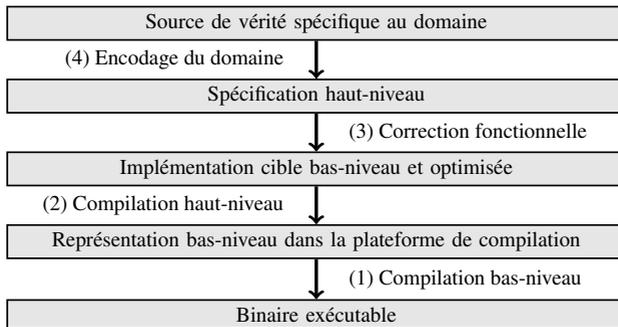


FIGURE 1. Schéma sommaire d'une chaîne typique de vérification de programmes utilisant un assistant de preuve.

Pareillement, même si les cryptographes décrivent leurs primitives cryptographiques à l'aide de notations mathématiques, il n'est pas rare de trouver des bugs dans les spécifications formelles dérivées de ces primitives cryptographiques par des informaticiens.

Pour répondre à cette problématique, ainsi qu'au besoin de traductions multiples du programme source vers différents cadres de vérification ayant chacun leur paradigme de preuve, nous défendons l'utilisation de langages dédiés orientés vers la preuve. Ces langages dédiés (DSL) devraient être pensés comme une surcouche au-dessus des cadres de preuves, avec un design qui incorpore et distribue les obligations de preuves entre les prouveurs. De plus, le programme originel est souvent déjà traduit depuis des spécifications d'exigences informelles liées au domaine d'activité afférent. Afin de raffermir le maillon le plus haut de la chaîne de confiance, nous soutenons que les langages dédiés orientés vers la preuve peuvent aider les experts du domaine à relire la spécification du programme, spécification à la base d'ultérieurs développements d'implémentations vérifiées.

L'utilisation de langages dédiés orientés vers la preuve doit, selon nous, s'inscrire dans une méthodologie plus globale présentée en figure 2 dont le but est d'augmenter le niveau d'assurance d'un logiciel critique existant.

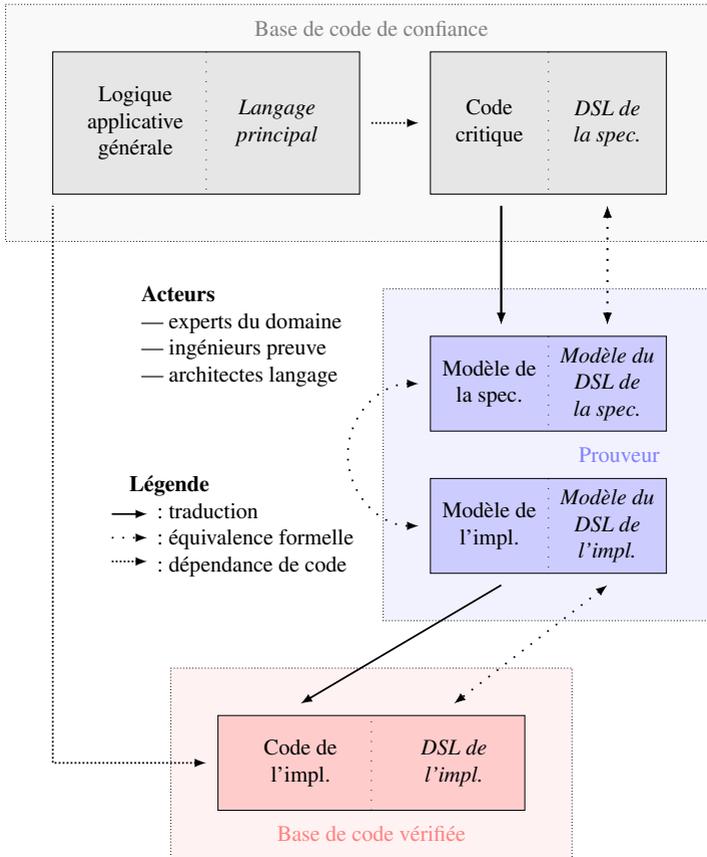


FIGURE 2. Illustration d’ensemble de la méthodologie proposée dans la thèse. Dans chaque bloc représentant un morceau du logiciel, la partie gauche décrit le code tandis que la partie droite décrit le langage dans lequel le code est écrit. Les traductions ou preuves d’équivalence peuvent être faites manuellement ou mécaniquement.

Cette méthodologie que nous avons éprouvée expérimentalement commence par découper dans un logiciel existant la partie réellement critique sur laquelle le travail va porter. Puis, nous simplifions dans cette partie critique en enlevant au maximum les artefacts d’implémentation et d’optimisation afin de constituer une spécification qui sera le point de départ de la suite. Vient alors le travail central de conception d’un langage dédié orienté vers la preuve pour capturer de manière concise et adaptée la

logique à l'œuvre dans la spécification du logiciel critique. C'est là que nous faisons relire la spécification par des experts du domaine afin d'en assurer la validité. Ensuite, nous transposons le code critique ainsi qu'un modèle du langage dédié dans un prouveur (ou plusieurs) dans lequel sera réalisée la preuve de correction fonctionnelle entre la spécification et une implémentation de plus bas-niveau et optimisée selon les besoins en performance ou en portabilité. Enfin, cette implémentation est transformée en du code exécutable qui peut être relié au reste de l'application originale.

La thèse traite du design et de l'utilité des langages dédiés orientés vers la preuve, ainsi que de la méthodologie présentée ci-dessus, au travers de cinq études de cas. Ces études de cas portent sur des domaines allant des implémentations cryptographiques aux systèmes experts légaux, et sur des logiciels à haut niveau d'assurance actuellement utilisés en production. Chaque étude de cas donne son nom à l'un des chapitres de cette dissertation. LibSignal* est une implémentation vérifiée du protocole cryptographique Signal à destination du Web. Hacspec est un langage dédié pour les spécifications cryptographiques en Rust. Steel est un cadriciel de vérification de programmes utilisant la logique de séparation à l'intérieur de l'assistant de preuve F*. Mlang est un compilateur pour un langage dédié aux calculs fiscaux utilisé par la DGFIP. Enfin, Catala est un nouveau langage qui permet l'encodage de spécifications législatives dans un code source exécutable et analysable. Vous pouvez retrouver une description vulgarisée de Catala dans le précédent numéro de 1024³.

3. <https://doi.org/10.48556/SIF.1024.20.77>.



Self-supervised learning of deep visual representations

Mathilde Caron¹

Cet article est le résumé de la thèse de doctorat² de l'auteur ayant reçu l'accessit du prix de thèse Gilles Kahn 2022 décerné par la Société informatique de France.



Les humains et de nombreux animaux peuvent percevoir le monde et le comprendre sans effort. L'espoir du domaine de la reconnaissance d'image, une branche de la vision par ordinateur, est de recréer cette capacité de perception visuelle par un ordinateur, c'est-à-dire par une « intelligence artificielle ». Les êtres vivants acquièrent une telle perception du monde visuel de manière autonome, c'est-à-dire sans l'intervention d'un superviseur externe leur disant explicitement où, quoi ou qui doit être vu. Cela suggère que la perception visuelle artificielle pourrait être acquise en l'absence de supervision experte, tout simplement en laissant un système observer de grandes quantités de données visuelles.

De nos jours, l'approche la plus prometteuse et la plus adoptée pour la reconnaissance d'image est l'apprentissage profond, une puissante branche d'algorithmes issue de l'apprentissage automatique (*machine learning*) qui consiste à laisser le programme découvrir (ou apprendre) par lui-même comment résoudre un problème à partir d'une grande quantité d'exemples, au lieu de lui dicter en amont une série

1. Université Grenoble Alpes

2. <https://www.theses.fr/2021GRALM066>.

de règles. Le paradigme dominant en apprentissage profond est celui de l'apprentissage supervisé. Selon ce paradigme, chaque image doit venir avec une annotation décrivant son contenu et le programme apprend conjointement à partir des images et de leurs annotations. Les approches supervisées sont les plus adoptées en reconnaissance d'images aujourd'hui mais elles sont problématiques pour plusieurs raisons.

D'abord, comme évoqué plus haut, l'apprentissage supervisé n'est pas calqué sur la manière dont on a l'impression que les humains ou les animaux acquièrent la perception visuelle. Par exemple, les bébés sont capables de percevoir les éléments de leur environnement souvent bien avant de les nommer, ce qui suggère que l'apprentissage se fait plutôt par le biais de l'expérience et l'observation répétée.

Une autre limitation de l'apprentissage supervisé est le biais ou même les erreurs dans les annotations. En effet, l'acte d'annotation de données est ambigu dans le sens où il y a souvent plusieurs manières d'annoter, sujettes à interprétation. Cela peut introduire des biais dans les systèmes qui utilisent ces annotations.

Finalement, la raison peut-être la plus pragmatique pour inciter à se débarrasser des données supervisées est le fait que les annotations sont souvent compliquées à acquérir. En effet, annoter des données requiert une expertise humaine, ce qui empêche le passage à l'échelle des algorithmes et est donc limitant dans les domaines où l'accès à ces annotations est coûteux, difficile voire impossible.

Dans la thèse, nous présentons différentes contributions au domaine en plein essor de l'apprentissage auto-supervisé de représentations visuelles. Nous commençons par étudier une catégorie prometteuse d'approches auto-supervisées, à savoir le *clustering* profond, qui permet d'entraîner des réseaux de neurones tout en trouvant des groupes d'images visuellement similaires dans une collection de données. Nous identifions ensuite les limites de ces méthodes de *clustering* profond, telles que la difficulté à passer à l'échelle, ou le fait qu'elles sont souvent sujettes à des solutions triviales. En conséquence, nous proposons de nouvelles méthodes auto-supervisées qui surpassent leurs homologues supervisées sur plusieurs *benchmarks* et présentent des propriétés intéressantes. Par exemple, les réseaux auto-supervisés ainsi obtenus contiennent des représentations génériques qui se transposent bien pour résoudre diverses tâches sur d'autres ensembles de données. Ils contiennent également des informations explicites sur la segmentation sémantique d'une image, obtenue de façon complètement non supervisée. Finalement, nous évaluons également nos modèles auto-supervisés sur des données brutes, en les entraînant sur des centaines de millions d'images non supervisées prises aléatoirement sur Internet.



Systèmes de fonctions holonomes, application à la théorie des automates

Florent Koechlin

Cet article est le résumé de la thèse de doctorat¹ de l'auteur ayant reçu l'accessit du prix de thèse Gilles Kahn 2022 décerné par la Société informatique de France.



Ma thèse se divise en deux parties relativement indépendantes. Dans la première partie, j'ai étudié la pertinence des modèles d'expressions aléatoires utilisées pour l'analyse en moyenne des algorithmes ou pour faire des *benchmarks*. Dans la seconde partie, je me suis intéressé à la non-ambiguïté en théorie des automates, et notamment aux automates de Parikh non ambigus. Les deux parties se rejoignent dans la méthodologie utilisée pour les aborder, à savoir les séries génératrices et la combinatoire analytique.

Réductions d'arbres d'expressions en présence d'un élément absorbant

En informatique comme en mathématiques, il est courant de décrire des objets sous une forme condensée. Par exemple une expression régulière décrit un langage, une formule logique décrit une fonction booléenne, une formule de Presburger représente un ensemble de nombres, une expression arithmétique une fonction mathématique, etc.

Ces expressions se représentent naturellement sous la forme d'arbres, et sont ainsi l'entrée de nombreux algorithmes, dont on peut vouloir estimer l'efficacité. La mesure classique pour cela est la complexité au pire cas, mais il y a souvent une grande

1. <https://www.theses.fr/2021UEFL2025>.

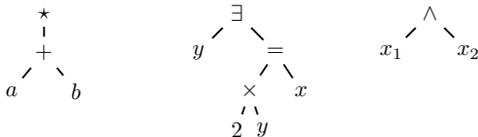


FIGURE 1. Exemple d'arbres représentant les expressions $(a + b)^*$, $\exists y, 2 \times y = x$, et $x_1 \wedge x_2$

différence entre ce qui est prédit au pire, et ce qui est observé à l'exécution. Une approche plus pratique consiste à tester les algorithmes sur des exemples de la vraie vie, mais avoir accès à de tels exemples, en nombre et de toutes les tailles, peut s'avérer difficile. L'analyse en moyenne est une autre approche classique plus pragmatique, qui est abordable dans certains cas mathématiquement, et qui peut se tester expérimentalement si on dispose d'un générateur aléatoire. Il faut cependant choisir une distribution sur les entrées de taille n , qui soit à même de simuler des exemples réels. Lorsqu'aucune information supplémentaire n'est connue sur la distribution des entrées, il est naturel de se tourner vers deux distributions standard :

- la distribution uniforme, pour laquelle chaque expression de taille n est équiprobable. Elle a l'avantage de donner la même probabilité à toute expression d'une taille fixée, et ainsi de bien couvrir toutes les possibilités. Elle est par exemple utilisée pour l'analyse en moyenne d'algorithmes de transformation d'expressions aléatoires en automate [12, 3];
- la distribution ABR pour les arbres binaires ou unaire-binaires. Le choix de cette distribution s'explique par la facilité avec laquelle on peut générer un arbre aléatoire de taille n , en temps linéaire : pour tirer un arbre de taille $n \geq 3$, il suffit de tirer un opérateur au hasard ; si l'opérateur est unaire, on génère récursivement son fils de taille $n - 1$; si l'opérateur est binaire, on tire uniformément au hasard la taille k de son fils gauche, et on génère de façon récursive le fils gauche puis droit de taille k et $n - 1 - k$. Cette distribution, par rapport à la distribution uniforme, favorise les arbres plus équilibrés (cf. figure 2). Elle est notamment utilisée dans des générateurs de formules de logique temporelle linéaire (LTL) utilisées en vérification.

Redondances des arbres d'expression. On fait généralement la distinction entre la syntaxe d'une expression, c'est-à-dire l'arbre étiqueté, et sa sémantique, c'est-à-dire l'objet qu'il représente. Dans le code de génération des formules LTL aléatoires [14, 6], on peut remarquer qu'à aucun moment la sémantique des formules représentées n'est utilisée dans l'algorithme. Les arbres produits sont purement syntaxiques, ce qui peut paraître paradoxal dans la mesure où ils ont pour vocation à être considérés par les algorithmes qui vont les utiliser comme des formules logiques avec une sémantique précise. De même, si on regarde les articles utilisant

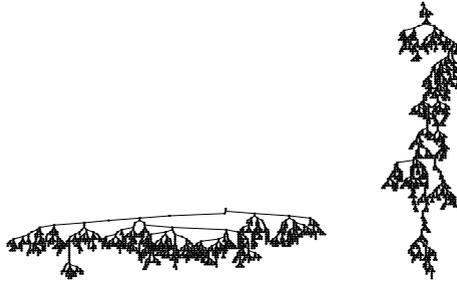


FIGURE 2. Un arbre ABR typique à gauche, de hauteur en moyenne $O(\log n)$, et un arbre uniforme à droite, de hauteur en moyenne $O(\sqrt{n})$.

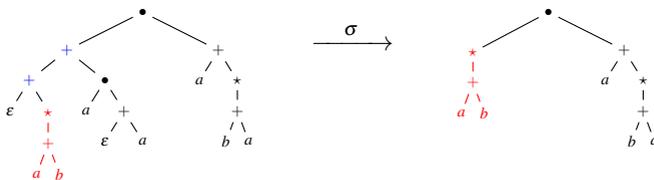
la distribution uniforme pour l’analyse en moyenne d’algorithmes traitant des expressions régulières, les arbres aléatoires décrits pour l’analyse sont aussi purement syntaxiques.

Pour de nombreuses classes d’expressions syntaxiques, il existe pourtant des phénomènes de redondance : plusieurs expressions différentes représentent les mêmes objets (par exemple 0 , $x + (-x)$, 0×42 et $\cos(\pi/2)$). Il apparaît ainsi immédiat que tirer au hasard une expression n’est pas du tout équivalent à tirer au hasard l’objet qu’elle représente ; certains objets sont sur-représentés par rapport à d’autres, selon le nombre d’expressions d’une taille donnée qui les décrivent. Dans ce cas, les analyses en moyennes et les *benchmarks* utilisant des expressions aléatoires sont-ils pertinents ?

Élément absorbant. Pour aborder cette question dans ma thèse, je me suis restreint à l’étude d’une redondance très simple, induite par la présence d’un élément absorbant. Un arbre \mathcal{P} est dit absorbant pour un opérateur \otimes si toute expression de la forme $\begin{matrix} \otimes \\ \mathcal{P} \quad T \end{matrix}$ ou $\begin{matrix} \otimes \\ T \quad \mathcal{P} \end{matrix}$, avec T une expression quelconque, est équivalente sémantiquement à \mathcal{P} . Par exemple, $(a + b)^*$ est absorbant pour l’union $+$ pour les expressions régulières sur les lettres a et b ; \top est absorbant pour l’opérateur \vee ; 0 est absorbant pour la multiplication \times , etc.

J’ai considéré une réduction particulière, notée σ . Étant donné un arbre fixé \mathcal{P} , appelé élément absorbant, et \otimes un opérateur d’arité $a \geq 2$, appelé opérateur absorbant, la réduction σ d’une expression T est l’expression $\sigma(T)$ obtenue à partir de T en remplaçant de bas en haut par \mathcal{P} tout sous-arbre de T dont la racine est \otimes et l’un des fils est \mathcal{P} . Par exemple, dans le cas des expressions régulières, avec $\mathcal{P} = \begin{matrix} \star \\ a' \quad b \end{matrix}$

et $\otimes = +$, l’arbre suivant à gauche est simplifié par σ en l’arbre à droite (notez que $(b + a)^*$ n’est pas identifié comme étant égal à \mathcal{P}) :



Si les expressions admettent dans leur sémantique un élément absorbant, alors pour toute expression T , la réduction associée $\sigma(T)$ est une expression plus petite que T , qui lui est équivalente.

Contributions. J’ai étudié dans ma thèse le comportement en moyenne de la réduction σ pour des expressions suivant la distribution uniforme et la distribution ABR. Le fait d’étudier uniquement les conséquences de la présence d’un élément absorbant permet d’obtenir des propriétés générales sur de nombreuses classes d’expressions très diverses, et évite ainsi l’étude au cas par cas de la sémantique particulière de chacune des expressions étudiées. Pour cela, un outil de choix est la *combinatoire analytique* [8], qui s’est justement beaucoup appliquée à rassembler dans un même cadre unifié l’étude de classes combinatoires pourtant en apparence très différentes, à l’aide notamment de la méthode symbolique.

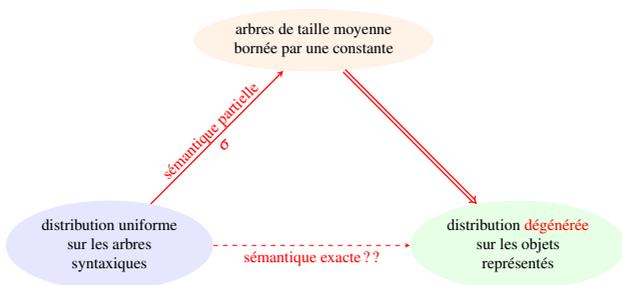


FIGURE 3. Résumé de la démarche : au lieu d’étudier directement la sémantique des expressions, on étudie à l’aide de la réduction σ un modèle intermédiaire, proche des arbres syntaxiques, mais qui suffit à démontrer la dégénérescence des expressions aléatoires uniformes.

Arbres d'expression uniformes. J'ai montré dans ma thèse que les redondances introduites par la seule présence d'un élément absorbant rendent la distribution uniforme dégénérée pour la plupart des expressions décrites par des systèmes d'équations. Cela inclut par exemple le cas des expressions régulières, décrites par l'équation unidimensionnelle :

$$(1) \quad \mathcal{L}_{\mathcal{R}} = \varepsilon + a + b + \overset{*}{\mathcal{L}_{\mathcal{R}}} + \overset{\bullet}{\mathcal{L}_{\mathcal{R}} \mathcal{L}_{\mathcal{R}}} + \overset{\dagger}{\mathcal{L}_{\mathcal{R}} \mathcal{L}_{\mathcal{R}}} .$$

ou encore les expressions régulières qui évitent deux étoiles consécutives, qui sont décrites par le système suivant :

$$(2) \quad \begin{cases} \mathcal{R} = \overset{*}{\mathcal{S}} + \mathcal{S} \\ \mathcal{S} = a + b + \varepsilon + \overset{\dagger}{\mathcal{R} \mathcal{R}} + \overset{\bullet}{\mathcal{R} \mathcal{R}} \end{cases} .$$

Plus précisément, j'ai démontré que sous certaines conditions naturelles, et en présence d'un élément absorbant, les systèmes de ce type décrivent des arbres d'expressions qui sont réduits considérablement par σ : en moyenne, la taille de la réduction $\sigma(T)$ d'un arbre de taille n est bornée par une constante indépendante de n . Ce phénomène reste vrai pour les moments d'ordre supérieur liés à la taille de $\sigma(T)$, qui sont aussi bornés par des constantes. Cela signifie que la distribution uniforme sur les arbres d'expressions n'est pas pertinente pour faire des *benchmarks*, ni pour faire une analyse en moyenne : avec cette distribution, tout problème polynomial sur des objets représentés par des expressions présentant un élément absorbant se résout en temps constant en moyenne.

En ajoutant quelques règles de réduction supplémentaires pour détecter une plus grande sous-famille d'expressions équivalentes à $(a + b)^*$, il est possible d'obtenir des résultats plus fins sur la classe des expressions régulières. En particulier, une expression régulière aléatoire uniforme de taille n formée avec deux lettres sur le modèle de l'équation (1) est en moyenne équivalente à une expression régulière de taille 77 lorsque n tend vers l'infini (cf. figure 4); de plus, asymptotiquement, entre 31 % et 46 % de ces expressions sont équivalentes à $(a + b)^*$, une expression de taille 4 seulement.

Arbres d'expressions ABR. Le comportement de la réduction σ est plus complexe lorsque les expressions sont des arbres unaire-binaires suivant la distribution ABR, qui est notamment utilisée pour générer des expressions LTL aléatoires. La taille moyenne après réduction dépend de la probabilité p_{\otimes} d'apparition de l'opérateur absorbant. Intuitivement, il y a peu de réductions lorsque p_{\otimes} est trop petit, et il y a beaucoup de simplifications lorsque p_{\otimes} est proche de 1.

Plus précisément, si p_1 est la probabilité de tirer un opérateur unaire, il existe deux seuils critiques, en $p_{\otimes} = 1/2$ et en $p_{\otimes} = (3 - \pi)/4$, qui délimitent ainsi cinq régimes différents ; ces derniers couvrent toutes les possibilités, d'une réduction très faible en

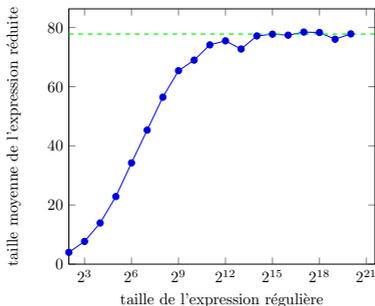


FIGURE 4. En appliquant quelques règles élémentaires de simplification, les expressions régulières aléatoires uniformes se réduisent considérablement.

$\Theta(n)$ à une réduction complète en $\Theta(1)$. Ces paliers ont été confirmés expérimentalement.

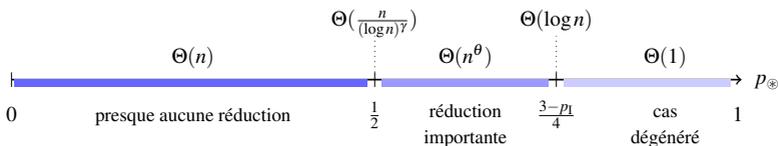


FIGURE 5. Les cinq régimes pour la taille moyenne de $\sigma(T)$, avec T un arbre ABR de taille n , selon la probabilité p_* de l'opérateur absorbant, avec p_1 la probabilité des opérateurs unaires, $\gamma = \frac{2}{1-p_1}$ et $\theta = 1 - \frac{4p_*-2}{1-p_1}$.

Automates de Parikh non ambigus

En informatique, un mot est une suite finie de lettres. On appelle langage un ensemble de mots formés sur un ensemble fini fixé de lettres, appelé alphabet, souvent noté Σ . La théorie des langages s'intéresse particulièrement aux langages qui peuvent être décrits par des structures mathématiques finies, comme par exemple des automates (automates finis, automates à pile, machines à compteurs), des règles de réécriture (grammaires algébriques), ou encore d'autres modèles plus complexes de machines (machine de Turing).

Tous ces modèles peuvent être considérés comme des représentations mathématiques de programmes ou d'ordinateurs, avec des restrictions supplémentaires portant par exemple sur la taille de leur mémoire, sur leur aptitude à modifier leur entrée, ou

sur les opérations arithmétiques qu'elles sont capables d'effectuer. Intuitivement, un modèle avec des restrictions très fortes reconnaîtra des langages peu complexes, mais aura de nombreuses propriétés intéressantes décidables, avec une complexité raisonnable ; à l'inverse, un modèle trop puissant reconnaîtra des langages plus riches, mais dont la plupart des problèmes algorithmiques associés auront une forte complexité, voire seront indécidables.

C'est dans cette problématique de classification des langages et des problèmes algorithmiques associés qu'a été introduite en 1956 la hiérarchie de Chomsky [4], qui incluait les langages réguliers, algébriques, contextuels et récursivement énumérables ; cette hiérarchie a ensuite été précisée et enrichie par de nombreux modèles d'automates, et n'est plus aujourd'hui linéaire (dans le sens où plusieurs classes de langages ne sont pas comparables pour l'inclusion).

Lorsqu'un modèle d'automate ou de machine est introduit, il est donc fondamental de tenter de l'insérer le plus précisément dans cette hiérarchie, en le comparant aux autres modèles existants, afin de saisir son expressivité et ses limites, et étudier ses propriétés algorithmiques. Dans cette recherche de compréhension d'un modèle, deux sous-classes importantes interviennent généralement : les versions déterministes et non ambiguës.

Les variantes déterministes d'un modèle sont constituées d'automates dont le comportement à tout instant est entièrement déterminé par l'état courant et la lettre en cours de lecture. Elles jouissent en général de plus nombreuses propriétés de clôture (comme l'union ou le complémentaire) et de meilleures bornes algorithmiques. Mais le déterminisme est une restriction très forte qui diminue en général beaucoup le pouvoir d'expression du modèle et sa concision.

En toute généralité, un automate est dit *non ambigu* si tout mot qu'il reconnaît admet un unique calcul acceptant. Les automates non ambigus peuvent être vus comme un bon compromis à mi-chemin entre les versions déterministes trop rigides, et les versions non déterministes trop complexes à étudier : ils reconnaissent ainsi plus de langages que les variantes déterministes, tout en conservant certaines propriétés décidables. Par exemple, l'universalité qui est indécidable pour les langages algébriques, devient décidable pour les langages algébriques non ambigus.

La non-ambiguïté est une notion particulièrement difficile à comprendre car c'est une contrainte externe au modèle, qui porte sur le comportement global de l'automate, contrairement au déterminisme qui est une condition locale sur les règles de transitions. Pour un modèle d'automate donné, les langages de ce modèle qui ne sont reconnaissables par aucun automate non ambigu sont appelés *intrinsèquement ambigus*. Ces langages sont très intéressants pour comprendre les limites d'expressivité du modèle étudié, et séparer la classe générale de sa sous-classe non ambiguë. Malheureusement, pour de nombreux modèles (comme les langages algébriques ou les langages reconnus par des automates de Parikh), décider l'intrinsèque ambiguïté d'un langage est indécidable [10, 2].

En 1961, Parikh démontre pour la première fois qu'il existe des langages algébriques intrinsèquement ambigus [13], et ouvre la voie à l'élaboration de plusieurs techniques, par itération, qui ont permis d'enrichir les exemples de langages algébriques intrinsèquement ambigus. Malgré ces avancées, les méthodes développées, restreintes à des langages assez simples, sont très spécifiques et s'adaptent mal à des variations, même simples, des langages étudiés. Par ailleurs, elles ne s'appliquent qu'aux langages algébriques, et ne semblent pas pouvoir se généraliser à d'autres modèles de langages.

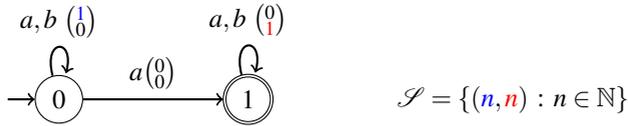
À tout langage \mathcal{L} , on peut associer sa série génératrice $L(z) := \sum_{n \in \mathbb{N}} \ell_n z^n$, où ℓ_n désigne le nombre de mots du langage \mathcal{L} de taille n . Le théorème de Chomsky-Schützenberger [5] établit que tout langage algébrique non ambigu possède une série génératrice algébrique, c'est-à-dire qu'il existe un polynôme $P(z, Y) \in \mathbb{Q}[z, Y]$ tel que $P(z, L(z)) = 0$. En 1987, Philippe Flajolet [7] revisite ce théorème et développe une nouvelle méthode pour aborder l'intrinsèque ambiguïté. Il démontre l'intrinsèque ambiguïté de nombreux langages algébriques, en montrant que leur série génératrice n'est pas algébrique. Son approche est complémentaire aux techniques par itération évoquées précédemment. Surtout, elle est rapide et bien plus systématique pour aborder le problème de l'intrinsèque ambiguïté des langages algébriques.

Démarche. Depuis l'article de Philippe Flajolet [7], de nombreuses classes de langages ont été introduites en théorie des langages et en vérification. En particulier, les machines à compteurs sont des extensions maintenant bien comprises des langages réguliers et des langages algébriques. Du côté des séries, il existe également une généralisation des séries algébriques, les séries holonomes, qui sont un sujet actif de recherche en calcul formel et combinatoire.

Dans ma thèse, j'ai actualisé le lien entre théorie des automates et calcul formel à la lumière de ces avancées. J'ai ainsi transposé la démarche de Flajolet dans le monde des automates à compteurs (machines à compteurs à inversion bornée et automates de Parikh, avec ou sans pile).

Un automate de Parikh de dimension d est un automate fini dont les transitions sont étiquetées par une lettre et un vecteur de dimension d , auquel on associe un ensemble semilinéaire $\mathcal{S} \subseteq \mathbb{N}^d$, c'est-à-dire un ensemble de vecteurs qui peut être décrit par une formule de la logique du premier ordre sur les entiers naturels munis de l'addition. Un mot est accepté par l'automate s'il étiquette un calcul de l'automate d'un état initial à un état final, et si la somme des vecteurs des transitions empruntées appartient à l'ensemble \mathcal{S} .

Un automate de Parikh est dit non ambigu si tout mot est accepté par au plus un calcul acceptant. L'automate ci-dessous reconnaît le langage des mots de longueur impaire dont la lettre du milieu est un a . Cet automate est non ambigu, mais n'est pas déterministe.



Une série $L(z)$ est dite *holonome* ou *D-finite* si elle vérifie une équation différentielle linéaire à coefficients polynomiaux, autrement dit s’il existe un ordre r , et des polynômes p_0, \dots, p_r dans $\mathbb{Q}[z]$ tels que

$$p_r(z) \frac{d^r}{dz^r} L(z) + \dots + p_0(z) L(z) = 0.$$

Contributions. Dans ma thèse, j’ai montré que la série génératrice d’un langage reconnu par un automate de Parikh (à pile) non ambigu est holonome. J’ai précisément inséré la classe des automates de Parikh non ambigus (avec ou sans pile) dans le paysage des langages formels, en la reliant notamment aux machines à compteurs à inversion bornée non ambiguës, avec ou sans pile.

De même, j’ai précisé plus finement les séries atteintes par les langages reconnus par des automates de Parikh (respectivement à pile) non ambigus à l’intérieur de la classe des séries holonomes : il s’agit exactement des diagonales de séries \mathbb{N} -rationnelles [9] (respectivement de séries \mathbb{N} -algébriques [1]). Ces travaux étendent ainsi l’approche de Philippe Flajolet, et permettent de démontrer l’intrinsèque ambiguïté de plusieurs langages de Parikh, en montrant que leur série génératrice n’est pas holonome.

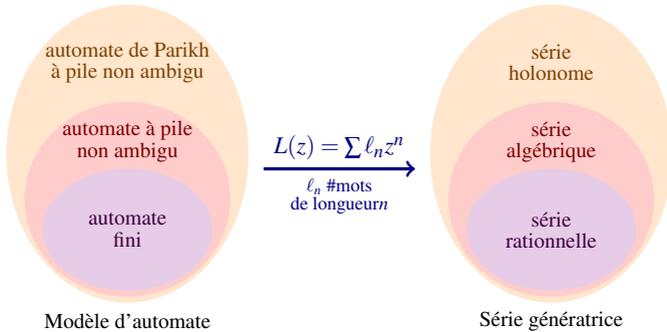


FIGURE 6. Schéma récapitulatif de la correspondance entre séries génératrices et langages non ambigus

Enfin, je me suis intéressé au problème de l’inclusion $L_{\mathcal{A}} \subseteq L_{\mathcal{B}}$ de deux automates de Parikh non ambigus \mathcal{A} et \mathcal{B} . Ce problème est naturel dans le contexte de la vérification, où \mathcal{A} est l’automate étudié, et l’automate \mathcal{B} décrit les comportements

que l'on autorise; vérifier que le langage de \mathcal{A} est inclus dans celui de \mathcal{B} , c'est vérifier que les comportements décrits par \mathcal{A} restent autorisés. Si le problème de l'inclusion est indécidable pour les automates de Parikh, il devient décidable pour les automates de Parikh non ambigus.

Ainsi, en utilisant l'algorithmique des séries holonomes, j'ai obtenu une première borne doublement exponentielle sur la taille du plus petit mot témoin de la stricte inclusion de deux automates de Parikh non ambigus. J'en ai déduit un algorithme de complexité doublement exponentielle pour résoudre le problème de l'inclusion pour les automates de Parikh non ambigus. Pour établir cette borne, j'ai notamment étudié minutieusement l'algorithme historique de Lipshitz [11], qui démontre que les séries holonomes sont closes par diagonale et produit d'Hadarnard.

Références

- [1] Cyril Banderier and Michael Drmota. Formulae and asymptotics for coefficients of algebraic functions. *Combinatorics, Probability and Computing*, 24(1) :1–53, 2015.
- [2] Alin Bostan, Arnaud Carayol, Florent Koechlin, and Cyril Nicaud. Weakly-unambiguous parikh automata and their link to holonomic series. In Artur Czumaj, Anuj Dawar, and Emanuela Merelli, editors, *47th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2020, July 8-11, 2020, Saarbrücken, Germany (Virtual Conference)*, volume 168 of *LIPICs*, pages 114 :1–114 :16. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020.
- [3] Sabine Broda, António Machiavelo, Nelma Moreira, and Rogério Reis. Average size of automata constructions from regular expressions. *Bulletin of the EATCS*, 116, 2015.
- [4] Noam Chomsky. Three models for the description of language. *IRE Transactions on information theory*, 2(3) :113–124, 1956.
- [5] Noam Chomsky and Marcel-Paul Schützenberger. *The Algebraic Theory of Context-Free Languages*, volume 35 of *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*. Elsevier, 1963.
- [6] Alexandre Duret-Lutz, Alexandre Lewkowicz, Amaury Fauchille, Thibaud Michaud, Etienne Renault, and Laurent Xu. Spot 2.0 — a framework for LTL and ω -automata manipulation. In *Proceedings of the 14th International Symposium on Automated Technology for Verification and Analysis (ATVA'16)*, volume 9938 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 122–129. Springer, October 2016.
- [7] Philippe Flajolet. Analytic models and ambiguity of context-free languages. *Theor. Comput. Sci.*, 49(2) :283 – 309, 1987.
- [8] Philippe Flajolet and Robert Sedgewick. *Analytic Combinatorics*. Cambridge University Press, 2009.
- [9] Scott Garrabrant and Igor Pak. Counting with irrational tiles. *arXiv preprint arXiv :1407.8222*, 2014.
- [10] Seymour Ginsburg and Joseph Ullian. Ambiguity in context free languages. *J. ACM*, 13(1) :62–89, 1966.
- [11] Leonard Lipshitz. The diagonal of a D-finite power series is D-finite. *J. Algebra*, 113(2) :373 – 378, 1988.
- [12] Cyril Nicaud. On the Average Size of Glushkov's Automata. In Adrian-Horia Dediu, Armand-Mihai Ionescu, and Carlos Martín-Vide, editors, *Language and Automata Theory and Applications, Third International Conference, LATA 2009, Tarragona, Spain, April 2-8, 2009. Proceedings*, volume 5457 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 626–637. Springer, 2009.

- [13] Rohit J Parikh. Language generating devices. *Quarterly Progress Report*, 60 :199–212, 1961.
- [14] Heikki Tauriainen. Automated testing of Büchi automata translators for linear temporal logic. Research Report A66, Helsinki University of Technology, Laboratory for Theoretical Computer Science, Espoo, Finland, December 2000.



Sur quelques évolutions récentes en cryptologie post-quantique

Franck Leprévost¹

La cryptologie est aussi ancienne que le besoin de garder ses secrets à l'abri d'une part, et d'avoir accès à ceux de son voisin d'autre part. Le fait que ce dernier soit considéré comme ennemi, ou comme ami joue peu lorsqu'on regarde l'histoire du domaine. On consultera avec profit l'excellent ouvrage [6], et on gardera à l'esprit les rapports pour le Parlement Européen sur le réseau Echelon² au tournant des années 2000, l'affaire Snowden, ou encore les écoutes de dirigeants politiques ou de journalistes européens.

Ce domaine scientifique est schématiquement constitué de deux composantes aux objectifs opposés (les spécialistes pardonneront la grande simplification des concepts dont cet article fait preuve tout du long). D'un côté la cryptographie s'attache au développement de méthodes visant à assurer la confidentialité de messages ainsi que leur authenticité ou leur intégrité. De l'autre la cryptanalyse cherche à casser les codes employés afin de découvrir le contenu des messages chiffrés, à impersonnaliser les messages, ou à altérer leur contenu plus ou moins subrepticement.

Ces deux directions ont connu d'importantes évolutions au cours des siècles, mais avec des vitesses variables. L'objectif ici n'est pas de les relater toutes, l'ouvrage [6]

1. Ancien chercheur et professeur en mathématiques pures au CNRS, à l'université Joseph Fourier, au Max Planck-Institut für Mathematik à Bonn, à la Technische Universität Berlin (Allemagne), co-auteur du rapport dit « Echelon » pour le Parlement européen, Franck Leprévost est actuellement professeur d'informatique à l'université du Luxembourg, dont il a été le vice-président de 2005 à 2015. Il y dirige le laboratoire d'algorithmique, cryptologie et sécurité et est l'auteur de tutoriels de mathématiques pour l'informatique.

2. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Echelon>.

permettant de se faire une idée sur les principales jusqu'aux années 1970 essentiellement, mais de se focaliser sur quelques moments charnières de cette histoire. L'attention est portée sur eux parce qu'ils créent d'une part un avant et un après sans retour puisque la science est incrémentale par essence, et que sa capacité à l'oubli est limitée, et, d'autre part, parce que leur concomitance illustre une accélération de l'état des connaissances.

La cryptographie jusqu'aux années 1970

Jusqu'aux années 1970 — c'est-à-dire sur une période couvrant plus de 3000 ans — le principe utilisé par les cryptosystèmes les plus performants résidait dans l'utilisation d'une clef secrète, servant aussi bien à chiffrer un message qu'à le déchiffrer. C'est essentiellement ce principe qui prévalait par exemple pour la machine Enigma utilisée par les forces allemandes durant la deuxième guerre mondiale. Les clefs secrètes étaient changées fréquemment afin de se prémunir contre les attaques éventuelles du système. Le film *The Imitation Game*³, donne une idée de cette histoire, qui d'ailleurs rejoint la tragique histoire personnelle du mathématicien Alan Turing (1912 – 1954). La recherche de cryptosystèmes à clef secrète performants s'est poursuivie après la guerre, donnant lieu notamment à la publication du *Data Encryption Standard* (DES) en 1977 par le *National Institute of Science and Technology* (NIST), un organisme que nous retrouverons dans la suite de cet article.

Deux choses sont à noter à cet égard. La première est que, pour la première fois de manière aussi franche, le fonctionnement interne d'un algorithme destiné à devenir un standard était révélé à tous. Cela peut paraître surprenant car le monde du secret est presque ontologiquement allergique à ce type d'approche ouverte. Cependant, en procédant ainsi, le NIST appliquait les recommandations de Kerckhoff (1835 – 1903) selon lesquelles il faut partir du principe que l'ennemi connaît le système (ou le connaîtra), et donc que le secret ne doit résider que dans la clef, et pas dans le maintien dans l'obscurité du cryptosystème utilisé. La seconde est que l'adoubement par le NIST a fait *de facto* du DES le standard des algorithmes de cryptographie à clef secrète à compter de cette date non seulement aux USA, mais quasiment partout sur terre.

Cette domination du DES a duré presque une vingtaine d'années. Toutefois, les recherches se sont démultipliées, donnant lieu à des attaques de plus en plus fortes sur le DES. Le Triple-DES (une variante de DES) a alors été standardisé, ses tailles de clefs plus importantes permettant de résister encore pour un temps à ces attaques. Cependant, le coup d'arrêt est venu en 1999 avec la publication et l'utilisation du DES-Cracker. Cette machine avait été spécifiquement construite pour trouver les clefs secrètes du DES, et parvenait à le faire pour une poignée de dollars (un million de l'époque) et une poignée de jours (deux ou trois en moyenne). Il devint clair que

3. https://fr.wikipedia.org/wiki/Imitation_Game.

les jours du DES ou du Triple-DES étaient comptés : le problème n'était plus seulement la taille devenue trop courte des clefs, mais résidait dans la conception même de ces algorithmes. Les avancées technologiques, l'augmentation exponentielle à l'époque de la puissance des ordinateurs (avec un doublement de la capacité des puces tous les 18 mois) faisaient que les deux ou trois jours nécessaires en moyenne pour trouver une seule clef du DES au moment de l'avènement du DES-Cracker seraient fortement réduits dans les années qui viendraient. Maintenir les choses en l'état laissait planer un risque trop grand sur la confidentialité des communications futures. Ouvrons une parenthèse en notant au passage que l'avènement du DES-Cracker a certainement eu des conséquences sur les communications passées : il est en effet probable que des instances gouvernementales aient stocké au fur et à mesure des années des messages, chiffrés par d'autres États avec le DES ou le Triple-DES, en attendant des jours meilleurs. Même si ces messages n'avaient d'impact que pour des périodes courtes, avoir soudain la possibilité de les lire grâce au DES-Cracker, ou à d'autres machines, a certainement été source de confirmation d'informations ou source de surprises... Quoi qu'il en soit, le NIST avait toutes les raisons de lancer alors un appel à candidatures pour le successeur du DES, l'*Advanced Encryption Standard* (AES), avec des critères plus sévères que ceux ayant prévalu pour le DES, et tenant compte des progrès de la science et ceux prévisibles (à l'époque) de la technologie. L'algorithme à clef secrète gagnant de la compétition fut standardisé en 2001.

Premier moment charnière : l'invention de la cryptographie à clef publique

Mais le véritable premier moment charnière de cette histoire ne vient pas de la standardisation du DES ou de l'AES, qui s'inscrivent, d'une certaine manière, dans la lignée de la cryptographie à clef secrète ayant prévalu au cours des millénaires précédents. Il vient de l'invention de la cryptographie à clef publique. Dans un article de 1976 cité plus de 8000 fois depuis sa parution, l'informaticien Diffie et le mathématicien Hellman en posaient la base [4]. L'idée est d'une simplicité biblique. Pourtant il aura fallu des millénaires pour qu'elle émerge. Elle revient à la question suivante : a-t-on nécessairement besoin de la même clef pour chiffrer que pour déchiffrer ? Les cryptosystèmes comme Enigma, DES, AES sont à clef secrète. Le principe de ces algorithmes et machines est que la même clef est utilisée pour ces deux opérations. Elle est connue de l'expéditeur et du destinataire, et c'est tout. Toute autre personne, notamment un attaquant, ne doit pas y avoir accès. Dans le cas contraire, la sécurité des messages est compromise. Maintenant imaginons avec Diffie et Hellman qu'il existe deux clefs par destinataire : une clef publique accessible à tous (publiée par exemple comme le sont les numéros de téléphone dans un annuaire), et une clef

privée connue de cette seule personne. Imaginons encore qu’Alice souhaite communiquer confidentiellement avec Bob (Alice et Bob font partie du jargon standard utilisé en cryptographie), et donc que Bob soit le destinataire auquel Alice envoie un message. Les deux clefs de Bob doivent être conçues de sorte que tout le monde puisse lui envoyer un message chiffré avec sa clef publique (celle qui figure en face du nom de Bob dans l’annuaire), mais que seul Bob puisse déchiffrer le message avec sa clef privée (connue de lui seul). Ce concept novateur, qui suppose évidemment un lien entre clef privée et clef publique, mais qui n’impose plus que ce lien soit l’égalité entre ces clefs (ce concept est clarifié un peu plus loin), est fondamental pour toute la cryptographie qui suivra. Il sera notamment rendu opérationnel dans des travaux de Rivest, Shamir et Adleman, alors au MIT, menant à ce qui s’appellera ensuite l’algorithme RSA d’après les initiales de leurs noms. RSA peut être utilisé aussi bien comme algorithme de chiffrement à clef publique que comme algorithme de signature électronique [10].

Avant de tirer les conséquences de ces découvertes, mentionnons un fait peu répandu mais significatif de l’environnement dans lequel évoluent ces sujets sensibles. D’une certaine manière, ce qui précède est la partie émergée de l’histoire. Il existe une partie beaucoup plus discrète⁴ [14]. En effet, tout porte à croire que les britanniques James Ellis, Cliff Cocks et Malcolm Williamson avaient découvert l’essentiel des principes et algorithmes de la cryptographie à clef publique dès 1975 et donc avant quiconque. La raison d’État a imposé le silence sur près d’un quart de siècle, et ce fait n’a été révélé qu’en 1997. En effet, Ellis, Cocks et Williamson travaillaient pour le *Government Communications Headquarters* (GCHQ) à Cheltenham. Le GCHQ était (et est) le successeur de l’établissement secret de Bletchley Park, où Alan Turing travaillait pendant la guerre sur la machine Enigma. Dans ce milieu, le secret des travaux peut prévaloir (notamment sur le principe de Kerckhoff cité plus haut), que l’on soit en temps de guerre active, de guerre froide, ou autre.

Revenons aux conséquences de l’avènement de la cryptographie à clef publique. On aurait pu penser que ces découvertes mettraient au rebut les cryptosystèmes à clef secrète comme DES, Triple DES ou l’AES. En effet, les cryptosystèmes à clef secrète présentent intrinsèquement beaucoup de problèmes : ils ne permettent pas la signature électronique ; les messages sont compromis lorsqu’une clef est perdue (ou volée) ; ils présentent des difficultés pour l’échange des clefs secrètes sur lesquelles les différentes parties doivent convenir ; ils présentent des difficultés lorsqu’il faut inclure un nouveau participant dans une discussion chiffrée, ou au contraire l’en exclure ; etc. La plupart de ces problèmes disparaissent, ou du moins s’atténuent, avec les algorithmes à clef publique pour des raisons un peu longues à expliquer ici. Pourtant, les cryptosystèmes à clef secrète restent utilisés aujourd’hui pour plusieurs raisons. Pour n’en citer qu’une : la rapidité. Les cryptosystèmes à clef secrète sont

4. <https://cryptome.org/ukpk-alt.htm>.



plus rapides que ceux à clef publique : ils encryptent et décryptent jusqu'à parfois 100 fois plus vite. La situation est donc la suivante : d'une part, les algorithmes de cryptographie à clef secrète sont rapides, mais leur mise en place et leur gestion posent des problèmes importants ; d'autre part, les algorithmes à clef publique résolvent ces problèmes de mise en place et de gestion et font des choses en plus (signature électronique), mais sont lents.

La solution pour sortir de cette alternative est précisément de ne pas en sortir. Il convient en effet de ne pas concevoir les algorithmes de cryptographie à clef secrète et les algorithmes de cryptographie à clef publique comme étant exclusifs l'un de l'autre, mais au contraire de les combiner.

Par exemple, Alice souhaitant communiquer fréquemment avec Bob commencera par récupérer la clef publique de Bob. Puis, Alice construira un message M assez court — pour schématiser encore, imaginez quelque chose comme « *les sanglots longs des violons de l'automne*⁵ » — et l'enverra chiffré à Bob, avec la clef publique de Bob bien entendu. De son côté, Bob pourra déchiffrer avec sa clef privée le message M . À ce stade, Alice et Bob connaissent la phrase « *les sanglots longs des violons de l'automne* » : Alice parce qu'elle l'a envoyée, et Bob parce qu'il l'a déchiffrée. Ils sont en outre les seuls à la connaître car toute autre personne ne voit passer qu'un message chiffré entre Alice et Bob. Imaginons que Alice et Bob aient convenu d'utiliser cette phrase connue d'eux seuls comme la clef secrète d'un algorithme à clef secrète, comme AES par exemple, sur lequel ils se sont aussi mis d'accord au préalable, et de l'utiliser pour tous les échanges de la journée. À partir de ce moment et jusqu'à la fin de la journée, aussi bien Alice que Bob n'utilisent plus que l'algorithme à clef secrète AES et la clef secrète commune dont ils disposent (« *les sanglots longs des violons de l'automne* »). Cela leur permet d'échanger beaucoup de messages très vite, grâce à l'AES. Ils ne se servent plus de l'algorithme à

5. https://fr.wikipedia.org/wiki/Chanson_d%27automne.

clef publique du tout de la journée, et ce jusqu'au lendemain matin, moment où ils recommenceront leurs échanges pour convenir d'une nouvelle clef secrète commune avec une autre phrase plus ou moins poétique. Ce changement journalier ou même plus fréquent qu'une fois par jour de la clef secrète d'un algorithme comme AES renforce la sécurité de l'ensemble de l'édifice ainsi mis en place. Dans leur article, Diffie-Hellman proposent une autre manière de procéder, dans laquelle Alice et Bob construisent conjointement la clef secrète M (à la différence du cas précédent, où Alice décide unilatéralement de la clef secrète, qu'elle envoie ensuite à Bob). Ce protocole d'échange de clef de Diffie-Hellman joue un rôle très important dans la suite de l'histoire que nous racontons.

Les méthodes ainsi esquissées, combinant algorithme de cryptographie à clef publique (comme par exemple RSA ou le protocole d'échange de clefs de Diffie-Hellman) et algorithme de cryptographie à clef secrète (comme par exemple AES) — ce qui fait au total une clef publique et une clef privée pour le premier algorithme, et une clef secrète pour le second algorithme — sont, pour l'essentiel, celles qui gouvernent les infrastructures à clef publique utilisées dans le monde aujourd'hui (par exemple LuxTrust⁶ au Luxembourg, entreprise dont l'auteur de ces lignes a été membre du conseil d'administration pendant pas loin d'une dizaine d'années). La cryptographie à clef publique a connu un essor commercial, industriel, militaire, étatique colossal dans les années qui suivirent son invention. Ces architectures ont intégré de nombreuses applications. Les plus familières au grand public sont certainement celles ayant trait à l'e-commerce, aux déclarations fiscales en ligne, à l'e-banking pour n'en citer que quelques-unes. Les algorithmes de cryptographie à clef publique sont parmi les briques de base les plus importantes de la chaîne de sécurité des communications. Si ces algorithmes ont des failles, alors toute la chaîne de sécurité s'effondre comme un château de cartes.

Des problèmes mathématiques garants de la sécurité des cryptosystèmes à clef publique

Comment mesure-t-on la solidité de ces briques de base ? Le cœur de la chose réside dans le lien entre clef privée et clef publique des algorithmes de cryptologie à clef publique. Comme signalé plus haut, ce lien n'est pas un signe = comme dans le cas de la cryptographie à clef secrète. Le lien est donné par des opérations mathématiques plus compliquées, et par des problèmes mathématiques complexes à résoudre en pratique.

Ces opérations portant sur des objets mathématiques ont, pour l'essentiel, deux propriétés : elles doivent être « faciles » à faire dans un sens, et « difficiles » ou « très difficiles » à faire en sens inverse. Par exemple, il est facile (et donc rapide) de multiplier l'entier $x = 13$ par l'entier $y = 17$ pour obtenir l'entier $z = 221$. Par contre,

6. <https://www.luxtrust.com>.

si l'on ne connaît que la valeur de l'entier z , il est en pratique plus difficile (et donc plus lent) de retrouver les valeurs des entiers x et y qui le composent (il suffit d'essayer de se faire la main sur un autre exemple, tel $z = 437$). Le problème sous-jacent est le problème de la factorisation des entiers. Le protocole d'échange de clef de Diffie-Hellman repose sur d'autres problèmes mathématiques, impliquant des structures plus compliquées que les entiers, au nombre desquelles figurent les courbes elliptiques. Ici n'est pas le lieu de décrire ce que sont les courbes elliptiques. Toutefois, comme elles reviennent un peu plus tard dans cette histoire, il est nécessaire de citer leur nom.

Mais que signifie « facile », « difficile », voire « très difficile » ? Il est possible d'en donner une définition assez précise en termes de classes de complexité de problèmes, ou plutôt d'algorithmes destinés à résoudre ces problèmes. Disons pour simplifier qu'un problème résolu par un algorithme en temps polynomial en la taille des données est facile, qu'un problème dont le meilleur algorithme connu pour le résoudre nécessite un temps exponentiel est très difficile, et qu'un problème pour lequel le meilleur algorithme connu le résolvant nécessite un temps plus que polynomial mais moins qu'exponentiel (on parle alors de temps sous-exponentiel) est difficile. Le problème de la factorisation des entiers illustré précédemment est difficile. Ce problème spécifique est à l'origine de l'algorithme RSA, utilisé des centaines de millions de fois par jour tant pour la cryptographie à clef publique que pour les signatures électroniques. D'autres problèmes mathématiques ont donné naissance à d'autres algorithmes de chiffrement ou de signature électronique. Notamment les problèmes dits du logarithme discret dans des groupes (au sens mathématique du terme) bien choisis sous-tendent le protocole d'échange de clefs de Diffie-Hellman dans ces mêmes groupes. Les algorithmes de cryptage ou de signature électronique construits sur ces problèmes ont fait l'objet, tout comme RSA, d'un effort mondial de standardisation par différentes organisations. Le domaine a gagné en maturité, les standards restant pour l'essentiel stables tant qu'aucune attaque sérieuse n'est découverte. Plus généralement, l'évolution des standards mondiaux s'effectue en adaptant les recommandations au fur et à mesure de la découverte de cas particuliers de faiblesses (auquel cas des paramètres sont modifiés pour ne pas rentrer dans ces cas de faiblesses ponctuelles). Cette évolution se fait aussi en tenant compte de la montée en puissance des capacités de calcul des ordinateurs. En effet, tout comme on peut imaginer qu'un cambrioleur qui aurait à sa disposition l'ensemble des clefs de la création finirait par rentrer chez vous en les essayant toutes les unes après les autres, un attaquant peut essayer d'attaquer un cryptosystème par ce qu'on appelle *force brute* dans le jargon des spécialistes. Il essaye toutes les combinaisons possibles de clefs jusqu'à ce qu'il trouve la bonne. L'attaque par force brute marche toujours. Avec beaucoup de chance, la première tentative peut d'ailleurs être la bonne. Bien entendu, la question cruciale est le temps nécessaire en moyenne pour trouver cette clef. Avec l'augmentation des capacités de calcul mondial, ne rien faire expose à

des attaques par force brute de plus en plus faciles et de moins en moins onéreuses. Toutefois, l'amélioration des processeurs permet aussi aux cryptosystèmes de remplir leurs missions plus vite, et donc autorisent des tailles de clefs plus grandes pour contrer les attaques par force brute rendues possibles par la puissance croissante des ordinateurs. Par conséquent, les recommandations s'attachent à maintenir un compromis entre l'efficacité du cryptosystème d'un côté, et la faisabilité des attaques de l'autre, en augmentant la taille des clefs périodiquement.

Donc, avec les ordinateurs tels que nous les connaissons actuellement, les algorithmes de cryptographie à clef publique standardisés tels que RSA, ou ceux dérivés des problèmes de logarithme discret dans des groupes bien choisis, dont ceux provenant de courbes elliptiques, continuent d'être utilisés avec des tailles de clefs qui augmentent de temps en temps. La raison de leur pérennité vient de ce que les meilleurs algorithmes pour casser les problèmes mathématiques, sur lesquels reposent leur sécurité, sont en temps sous-exponentiel ou exponentiel. Autrement dit, ces problèmes de factorisation ou de résolution du logarithme discret dans des groupes adaptés sont difficiles ou très difficiles en l'état actuel des connaissances sur les ordinateurs classiques. Un point supplémentaire au passage : de la même manière qu'il n'est guère prudent de mettre tous ses œufs dans le même panier, la communauté cryptographique apprécie d'avoir des algorithmes de cryptage de natures différentes pour réduire l'exposition des utilisateurs aux attaques : une attaque sur un système est en général sans impact sur un autre système dont la sécurité est basée sur un problème mathématique différent.

Deuxième moment charnière : les algorithmes de Shor

Cependant, des efforts très importants sont déployés depuis quelques années pour construire des ordinateurs quantiques (voir plus loin sur l'état actuel de l'art). Si on y arrive, les capacités de calcul de tels ordinateurs seront démultipliées par rapport à celles des ordinateurs actuels. Une ligne de recherche concerne la question de ce que l'on pourrait faire avec de tels ordinateurs. Plus précisément, il s'est agi de construire des algorithmes qui exploitent les caractéristiques quantiques de telles machines, alors même que les machines n'existaient pas (et que l'on ne savait absolument pas si on pourrait en construire un jour). Dans ce contexte, Peter Shor publia à la fin des années 1990 des algorithmes qui résolvent en temps polynomial les problèmes mathématiques sous-jacents aux cryptosystèmes à clef publique usuels — factorisation des entiers, logarithme discret sur les groupes appropriés — sous l'hypothèse d'avoir à disposition un ordinateur quantique performant [13] (voir [8] pour une vulgarisation sur ces algorithmes, voir également [15, 1]). La conséquence est que ces méthodes de Shor rendraient caduques les cryptosystèmes correspondants : RSA, Diffie-Hellman sur le groupe multiplicatif d'un corps fini ou sur le

groupe des points d'une courbe elliptique sur un corps fini. Notons au passage que les efforts nécessaires pour casser ces cryptosystèmes à l'aide des algorithmes de Shor sur un ordinateur quantique peuvent différer de l'un à l'autre [12]. Les algorithmes de Shor et le fait que des investissements substantiels étaient effectués pour tenter de construire des ordinateurs quantiques ont conduit le NIST à se soucier de la sécurité des communications dans un monde post-quantique.

En 2016, le NIST a publié un appel à candidature⁷ pour des cryptosystèmes permettant l'encryption, l'échange de clefs, et les signatures électroniques, qui résisteraient à l'existence d'un ordinateur quantique, autrement dit des systèmes basés sur des problèmes mathématiques qui ne s'exposent notamment pas aux attaques du type de celles de Shor. Le processus de sélection devant mener aux nouveaux standards s'est fait par étapes (comme toujours). Parmi les 69 candidatures reçues, le premier tour d'évaluation (décembre 2017 – janvier 2019) a conduit le NIST à retenir 26 propositions pour le deuxième tour. Celui-ci s'est poursuivi jusqu'au mois de juillet 2020. Il a permis au NIST de sélectionner 7 finalistes et 8 candidats alternatifs pouvant participer au troisième tour. Le 5 juillet 2022 est une date importante dans notre narration : ce jour-là, le NIST publia son rapport d'évaluation sur ces 15 propositions⁸. Ses conclusions furent que l'algorithme à clef publique et l'algorithme d'échange de clefs qui serait standardisé serait CRYSTALS-Kyber, et que les trois algorithmes de signature électronique CRYSTALS-Dilithium, Falcon et SPHINCS+ seraient aussi standardisés. Au-delà de ces décisions, le NIST sélectionna aussi quatre algorithmes d'échange de clefs pour un quatrième tour d'évaluation — BIKE, Classic McEliece, HQC et SIKE — et annonça que ces algorithmes pourraient aussi être pris en considération pour une standardisation future. Pour être complet, notons que ce quatrième tour est aussi ouvert à de nouvelles propositions.

Troisième moment charnière : la fin de SIDH

Comme on l'imagine aisément, comprendre comment fonctionnent ces algorithmes, quels sont leurs avantages respectifs, et comment ils se comparent les uns aux autres nécessite un certain effort, dont nous faisons l'économie ici. Mettons toutefois l'accent sur l'un d'entre eux, SIKE, retenu début juillet 2022 pour le quatrième tour d'évaluation et donc susceptible de faire partie des standards (les autres algorithmes retenus ne font pas l'objet du présent article). Les mathématiques sur lesquelles cet algorithme s'appuie portent sur les courbes elliptiques sur des corps finis. De tels objets ont déjà démontré leur puissance par le passé : elles ont

7. <https://csrc.nist.gov/News/2016/Public-Key-Post-Quantum-Cryptographic-Algorithms>.

8. <https://www.nist.gov/publications/status-report-third-round-nist-post-quantum-cryptography-standardization-process>.

été utilisées pour prouver la conjecture de Fermat; elles le sont aujourd'hui pour prouver que des nombres entiers de plusieurs milliers de chiffres sont premiers (pour donner une idée de comparaison, on estime que le nombre de particules dans l'univers observable est de l'ordre d'un nombre ayant au plus 81 chiffres : bien petit à l'égard des milliers de chiffres dont il est question plus haut). Pour ce qui concerne SIKE, il s'agit en l'occurrence, en termes techniques, d'un cryptosystème qui formalise le protocole *Supersingular Isogeny Diffie-Hellman* (SIDH). Le SIDH consiste essentiellement à prendre en compte deux courbes elliptiques et à créer un algorithme à clef publique dont la clef privée est constituée par une application entre ces deux courbes et compatible avec leurs structures algébriques, appelée une isogénie. Ce sujet de recherche, qui s'intègre dans l'ensemble plus vaste de la cryptographie à base de courbes elliptiques, est devenu très actif depuis une bonne quinzaine d'années, donnant lieu à des dizaines de conférences internationales et des centaines d'articles scientifiques.

Quelques jours après la publication du rapport du NIST, trois articles parurent coup sur coup, qui eurent un certain retentissement dans le petit monde de la cryptographie. Le 30 juillet, Castryck et Decru publièrent le premier de la série [3]. De manière indépendante, Maino et Martindale arrivaient à des conclusions comparables le 8 août [9]. Deux jours plus tard, Robert apportait le coup de grâce [11]. Au final, SIDH est cassé en temps polynomial. Il semble donc que le protocole SIDH ait vécu, et qu'il emporte avec lui SIKE. En effet, les auteurs des articles précités ont montré comment casser ce candidat à la standardisation post-quantique sur un ordinateur classique : moins d'une heure de calcul sur un ordinateur portable suffit. Comment en est-on arrivé là ? Dans les trois cas, le point essentiel utilisé par les auteurs est une technique développée par Kani en 1997 pour « coller et séparer » des courbes elliptiques entre elles [7]. Dans un travail commun avec Howe et Poonen [5], nous avons écrit précisément les formules permettant de « recoller » un produit de courbes en une jacobienne de courbe de genre plus élevé. Les auteurs des trois papiers publiés en 2022 utilisent ces considérations très techniques avec beaucoup d'élégance et d'efficacité pour retrouver la clef privée du protocole.

Ouvrons une parenthèse sous la forme d'une méta-remarque et d'une observation menant à une conjecture.

La méta-remarque est que plus un objet mathématique possède de structures algébriques, plus grandes sont les chances de le cerner. Les courbes elliptiques supersingulières, utilisées dans SIDH, offrent des structures plus riches que les autres courbes elliptiques. Ce sont précisément ces structures additionnelles, se traduisant par le S dans SIDH, qui ont été exploitées dans les attaques. SIDH est complètement cassé, et probablement irrécupérable pour les applications cryptographiques, car son design nécessite précisément de telles structures riches.

L'observation est que l'attaque de Shor sur les cryptosystèmes classiques utilise les propriétés quantiques des ordinateurs quantiques, alors que l'attaque sur le cryptosystème post-quantique SIDH ne s'est aucunement faite en exploitant des aspects quantiques (le paragraphe suivant arrive en soutien de cette observation). La conjecture qui se déduit de cette double observation est que des attaques sur certaines instanciations de cryptosystèmes post-quantiques, tels ceux faisant l'objet ou restant en course pour la standardisation du NIST, exploiteront, à la Shor, les capacités quantiques des ordinateurs quantiques. Dit autrement, si des algorithmes comme ceux de Shor cassent les cryptosystèmes classiques en utilisant des propriétés quantiques, on imagine aisément que des cryptosystèmes post-quantiques souffriront de l'exploitation mathématique des propriétés quantiques. Fin de la parenthèse.

Revenons à la fin de SIDH par les attaques de l'été 2022. Galbraith⁹, l'un des meilleurs spécialistes mondiaux de ces sujets, positionne ces attaques dans une perspective historique par une déclaration pertinente à la fin de la page de son blog dédié à ce sujet : « *Je veux insister sur le fait que cette attaque est seulement possible en raison de décennies de recherche sur le calcul d'isogénies sur des variétés abéliennes générales. Ces travaux n'étaient pas motivés en premier lieu par leurs applications en cryptographie, mais par le désir de généralisation en mathématiques pures* ». En effet, aussi bien Kani que Howe, Poonen et moi-même (et certainement plusieurs autres chercheurs cités dans les références des articles de l'été 2022) n'avions aucunement en tête les applications qui ont émergé cet été lorsque nous travaillions sur ces objets il y a plus de vingt ans.

Cependant, c'est avec grand plaisir et même, avouons-le, une pointe de fierté (et aussi, avouons-le également, une pointe de regret, celle de ne pas avoir procédé nous-même aux attaques évoquées ci-dessus) que nous voyons (en tout cas que je vois) des travaux en mathématiques pures (si tant est qu'il y ait des mathématiques impures...) menés dans les années 2000 sans pression, sans nécessité d'applications industrielles à court terme, libres de toute autre motivation que la quête du savoir, porter leurs fruits 20 ans plus tard dans un domaine crucial pour la souveraineté des nations, la protection des citoyens et des industries, et même la préservation de la liberté.

Cette histoire illustre ainsi en premier lieu un phénomène bien connu des chercheurs, et souvent ignoré ou — pire — dénigré par nombre de décideurs en matière de politique de recherche, préoccupés de retombées immédiates. Il existe souvent un continuum de la recherche fondamentale aux applications. Mais il faut le laisser mûrir à son rythme. Cela demande de laisser les chercheurs travailler sereinement sur des défis extrêmement difficiles.

Deuxièmement, gouverner c'est prévoir. L'initiative du NIST concernant la cryptographie post-quantique a été lancée en 2016 alors que les qubits — les fameux *quantum bits*, jouant pour les ordinateurs quantiques le rôle que les bits 0 et 1 jouent

9. <https://ellipticnews.wordpress.com/2022/08/12/attacks-on-sidh-sike/>.

pour les ordinateurs classiques — en étaient encore à leurs balbutiements. Aujourd’hui, plus précisément en date du 11 novembre 2022, le record est détenu par la machine Osprey de IBM opérant sur 433 qubits. IBM a déjà annoncé que des travaux étaient en cours pour monter à 1000 qubits, et est en train de revoir à la hausse ses prévisions dans le domaine. Si l’émergence d’ordinateurs quantiques performants se fait encore attendre, si de nombreuses difficultés techniques restent à surmonter, notamment en ce qui concerne la correction des erreurs [2], si les machines quantiques actuelles ne permettent pas de factoriser de grands nombres (un ordinateur quantique est capable de factoriser 15 et d’obtenir 3×5 , idem avec $21 = 3 \times 7$, mais guère mieux pour le moment), les progrès des dernières années sont notables et prometteurs. Si des ordinateurs quantiques performants existent un jour, leur impact ne sera pas uniquement de casser des cryptosystèmes, et de forcer à en créer d’autres. Ils permettront aussi d’aborder de très nombreux problèmes que les ordinateurs classiques actuels ne sont pas en mesure de résoudre, et cela dans des domaines variés : prévision météorologique, recherche nucléaire, médecine, science des matériaux, etc.

Enfin, et ce dernier point est moins universellement partagé à mon grand regret, de manière plus générale, la seule recherche qui compte est celle où le seul mot d’ordre est la qualité, et rien d’autre. Dans tout ce qui précède, dans l’histoire que nous avons contée, nous sommes bien éloignés des délires délétères et destructeurs *woke* sur lesquels nous nous sommes exprimés ailleurs¹⁰. Ces délires du *wokisme* font pourtant actuellement leur lit jusque dans les universités ou revues scientifiques les plus connues, définissent de nouveaux critères retenus dans les politiques nationales ou européennes de financement de la recherche, guident plus généralement ce que les individus, chercheurs ou pas, doivent penser, et culpabilisent ou décrédibilisent les déviants. Laisser aux tenants de l’idéologie *woke* les rênes du pouvoir équivaut à une programmation de la médiocrité, et au déni du réel, scientifique ou non.

Remerciements

L’auteur remercie A. Atashpendar, A. Biryukov, D. Mestel, L. Goubin, J.-Ch. Pomerol et P. Ryan pour leurs éclaircissements sur des aspects relatifs aux performances actuelles des ordinateurs quantiques, pour leurs indications bibliographiques, et pour leur intérêt pour ce travail.

Références

- [1] Mirko Amico, Zain H. Saleem, and Muir Kumph. Experimental study of Shor’s factoring algorithm using the IBM q experience. *Physical Review A*, 100(1), jul 2019.

10. <https://www.causeur.fr/raison-detre-des-universites-occidentales-a-lheure-du-wokisme-225081>.

- [2] Earl T. Campbell, Barbara M. Terhal, and Christophe Vuillot. Roads towards fault-tolerant universal quantum computation. *Nature*, 549(7671) :172–179, sep 2017.
- [3] Wouter Castryck and Thomas Decru. An efficient key recovery attack on SIDH (preliminary version). Cryptology ePrint Archive, Paper 2022/975, 2022. <https://eprint.iacr.org/2022/975>.
- [4] W. Diffie and M. Hellman. New directions in cryptography. *IEEE Transactions on Information Theory*, 22(6) :644–654, 1976.
- [5] Everett W. Howe, Franck Leprévost, and Bjorn Poonen. Large torsion subgroups of split jacobians of curves of genus two or three. *Forum Mathematicum*, 12 :315–364, 1998.
- [6] David Kahn. *The Codebreakers : The Comprehensive History of Secret Communication from Ancient Times to the Internet*. Scribner, rev sub edition, December 1996.
- [7] Ernst Kani. The number of curves of genus two with elliptic differentials. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 1997(485) :93–122, 1997.
- [8] Franck Leprévost. Peter Shor, prix Nevanlinna 1998. *La Gazette des mathématiciens*, 81 :40–47, 1999.
- [9] Luciano Maino and Chloe Martindale. An attack on SIDH with arbitrary starting curve. Cryptology ePrint Archive, Paper 2022/1026, 2022. <https://eprint.iacr.org/2022/1026>.
- [10] R. L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Commun. ACM*, 21(2) :120–126, feb 1978.
- [11] Damien Robert. Breaking SIDH in polynomial time. Cryptology ePrint Archive, Paper 2022/1038, 2022. <https://eprint.iacr.org/2022/1038>.
- [12] Martin Roetteler, Michael Naehrig, Krysta M. Svore, and Kristin Lauter. Quantum resource estimates for computing elliptic curve discrete logarithms. *Advances in Cryptology, ASIACRYPT 2017*, 559 :241–270, 2017.
- [13] Peter W. Shor. Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. *SIAM Journal on Computing*, 26(5) :1484–1509, oct 1997.
- [14] Simon Singh. *The Code Book : The Evolution of Secrecy from Mary, Queen of Scots, to Quantum Cryptography*. Doubleday, USA, 1st edition, 1999.
- [15] John A. Smolin, Graeme Smith, and Alexander Vargo. Oversimplifying quantum factoring. *Nature*, 499(7457) :163–165, July 2013.



Retour d'expérience sur le concours Ma thèse en 180 secondes

Dima El Zein¹



Quelques mois après le début de ma thèse en novembre 2019, j'ai reçu un mail d'appel à candidature au concours de Ma thèse en 180 secondes — MT180. À l'époque, je ne connaissais absolument rien de ce concours. Étant intriguée par le mail, je me suis renseignée : « Il

s'agit d'un concours qui permet aux doctorants de toutes disciplines de présenter leurs travaux de thèse à un public non scientifique et diversifié. La présentation doit être faite en trois minutes chrono en utilisant une seule diapositive ». À la lecture du courriel, mon imagination m'a téléportée sur la scène fictive du concours. Motivée, j'ai même commencé à improviser le discours de ma présentation sur le coup, malgré le fait que je venais à peine de commencer ma thèse. Bien que je savais que ça allait être un défi stimulant et motivant, je ne m'attendais pas à ce que cette expérience devienne plus tard, l'une des meilleures de mon parcours de doctorante.

Deux ans se sont écoulés avant que je ne me lance dans ce défi. Maîtrisant à ce moment mon sujet de thèse, je me suis sentie assez confiante pour participer au

1. Doctorante en informatique, université Côte d'Azur.

concours. Lors de ma préparation, quelques enjeux me préoccupaient. Par exemple, étant une étudiante étrangère ayant le français comme deuxième langue, je voulais être sûre que la langue ne soit pas un obstacle de communication lors de ma présentation. Malgré les difficultés auxquelles je faisais face lors de ma préparation, je gardais tout le temps en tête le motif principal de mon inscription : profiter à fond de cette expérience ! Oui, j'étais inquiète. Cependant, il s'agissait d'une inquiétude mobilisante plutôt que paralysante. L'amalgame de zèle, de passion et d'angoisse, ainsi que ma préparation au concours et ma pratique, m'ont finalement permis de remporter le prix du public de la finale azuréenne, de participer à la demi-finale nationale et de voyager au *Joint Research Center* de la Commission européenne.

Les préparatifs

Les préparatifs à ce concours ont été soutenus par la cellule de culture scientifique de l'université Côte d'Azur². Deux formatrices, Isabelle et Sandra, de la compagnie de théâtre Compagnie Bal³ nous ont aussi accompagnés tout au long de cette aventure. Les formations se sont déroulées en six demi-journées réparties entre janvier et mars. Durant la première séance, je me souviens m'être portée volontaire pour une tentative d'improvisation de mon sujet de thèse devant quinze autres candidats. Mon sujet de thèse est intitulé « Recherche cognitive d'information » ; je travaille sur la personnalisation des résultats des systèmes d'extraction d'information selon les aspects cognitifs des utilisateurs. Lors du parcours doctoral, nous avons beaucoup d'opportunités de prise de parole et de présentations, que ce soit dans des conférences, des formations ou dans l'enseignement, etc. Toutefois, ces présentations se font majoritairement devant un public de notre domaine déjà familier avec les termes techniques utilisés quotidiennement.

Dans cette tentative d'improvisation, le défi n'était donc pas la prise de parole en public, mais plutôt la vulgarisation de mon sujet de thèse pour qu'il soit compréhensible par le grand public. À titre d'exemple, il fallait avoir l'instinct de remplacer les termes « systèmes d'extraction d'information » par « moteur de recherche », « triplet sémantique » par « des mots et des relations », « révision des croyances » par « mettre à jour la représentation ». Cela ne fut pas facile.

Après ma tentative, les organisatrices et les participants ont posé beaucoup de questions pour essayer de mieux comprendre l'intérêt de mon travail de recherche : « *Ce n'est pas ce que Google fait déjà ?* », « *Comment protèges-tu les données collectées ?* ». Pour les informaticiens, les réponses peuvent être évidentes. Cependant, pour le grand public, cela ne l'était pas. La nécessité de simplifier mon discours me devint très claire lorsque j'ai assisté moi-même à d'autres présentations, d'un autre

2. <https://csti.univ-cotedazur.fr/evenements/mt180>.

3. <https://www.compagniebal.com>.

domaine dont je ne suis pas experte, et où j'avais beaucoup de questions. Cette expérience m'a donné un peu de recul sur mon travail aussi.

Les séances suivantes nous ont aidés à définir notre message principal, nos mots clés et l'angle d'approche de nos prestations. Au début, chacun d'entre nous a commencé à rédiger son discours, qui allait être plus tard révisé par les formatrices et discuté occasionnellement avec les participants durant les séances. En effet, Anne-Sophie et Laure de la cellule de



Transparent réalisé par Émilie Deplantay.

culture scientifique de l'université voulaient s'assurer que nos discours présentaient une problématique, des solutions claires et un contenu scientifique. Quant à la réalisation des diapositives de nos présentations, Emilie, une graphiste de l'université en était responsable.

Ensuite, une fois que nous avons finalisé notre discours, nous avons poursuivi avec les exercices de préparation scénique pendant quelques séances. Les sujets étaient très diversifiés : maladie neurocognitive, pollution marine, protection des noms de domaine en Afrique, lunettes connectées, etc. Les formatrices nous ont appris à maîtriser l'art oratoire : la respiration, le ton, le rythme, le volume, la posture et la détente avant la présentation. Lors de ces séances, nous avons eu beaucoup de réactions sur nos présentations. Dans l'optique d'amélioration, nos points forts et nos points faibles ont été soulignés objectivement. Ces exercices nous suscitaient des sentiments mitigés. Parfois, nous nous sentions submergés par un sentiment de doute, parfois, nous riions et étions plus motivés que jamais.

Finalement, chacun d'entre nous devait bien évidemment se préparer. De mon côté, j'ai commencé mon discours par une mise en situation : deux personnes se croisent dans la rue ; la première personne demande à la deuxième l'itinéraire d'un café intitulé « café du cèdre ». Pour bien répondre à sa question, l'interrogé doit évaluer le niveau de connaissance de la ville qu'a la première personne. À travers cette mise en situation, j'ai donc comparé la personnalisation des résultats des moteurs de recherche à ce que les humains font dans leur quotidien. Nous essayons d'évaluer le niveau de connaissance des personnes avant de leur répondre. En fonction de ce niveau de connaissance, nous personnalisons nos réponses. D'ailleurs, bien que mon choix du nom du café « café du cèdre » puisse paraître aléatoire pour certains, le choix de mes mots était intentionnel : le symbole de mon pays natal est le cèdre et j'ai décidé ainsi de rendre hommage au Liban ainsi qu'à tous ceux qui me soutenaient et continuent à me soutenir à fond de là-bas.

Ma préparation

Bien évidemment, entre chaque séance, chacun d'entre nous avait un travail à réaliser : rédiger le discours, le modifier ou juste s'exercer. De mon côté, tout au long de ces deux mois, je profitais de tous les moments pour m'entraîner. Après avoir appris mon discours par cœur, je le répétais partout : dans des enregistrements vidéo, sous la douche, devant mon miroir, en attendant le bus, devant mes collègues au laboratoire et même en Zoom avec des proches à l'étranger.

Le Jour J



Le 16 mars 2022, nous nous sommes retrouvés en début d'après-midi pour une répétition générale de la soirée, l'occasion d'appréhender un peu les lieux et de répéter, chacun à notre tour, notre passage. Des microphones, des caméras en direct, des projecteurs, une transmission en direct sur les réseaux

sociaux, et un grand public : c'était notre moment ! Isabelle s'occupait de mettre les micros avant de monter sur scène et nous encourageait. J'avoue que cela m'a vraiment aidé à me détendre. Au fur et à mesure que les prestations s'enchaînaient, on s'encourageait et on applaudissait du fond du cœur. On s'est tous surpassés.

Avant de monter sur scène, j'entendais les battements de mon cœur sur les escaliers du théâtre. Une fois sur scène, tout s'est bien passé et j'ai profité au maximum de ce moment. Certaines de mes amies se sont déplacées pour venir me voir, et beaucoup d'autres m'ont regardée en ligne. Sur scène, je ne voyais ni le public dans la salle, ni ceux qui étaient en ligne. Malgré cela, je savais que j'étais chanceuse d'avoir autant de personnes qui m'encourageaient et qui croyaient en moi.

Lors de ma prestation sur scène, je n'ai pas vu le temps passer. En descendant les escaliers du théâtre, j'étais très satisfaite. Pour moi, j'ai senti à ce moment-là que j'avais obtenu ce que je voulais de cette expérience.

Enfin, le moment que tout le monde attendait : l'annonce des résultats ! Pour le premier prix Lyne Dumas, le deuxième Nezli Doumandji, le troisième pour

Alexandre Wicham-Piotrowski... et pour le prix du public : Dima el Zein! J'étais vraiment émue.

Demi-finale

L'aventure s'est ensuite poursuivie en demi-finale à Paris pour moi et pour la gagnante du premier prix du jury : nous représentons notre université. Les préparations reprenaient ! Regarder le *replay*, des *feedbacks*, un *briefing* et quelques répétitions. Il y a eu certainement beaucoup d'annonces sur les réseaux sociaux, des articles de presse, et des mails d'encouragements de la part de l'université ou des collègues.

Nous sommes allés à Paris accompagnées par Anne-Sophie. Nous sommes passés à un autre niveau et à une autre échelle : 56 candidats pour 16 places, tous à un niveau absolument excellent. Le premier jour, nous avons été très bien accueillies par l'équipe d'organiseurs du CNRS. Nous avons fait la connaissance des autres candidats autour d'une soirée cocktail. L'ambiance était très détendue et les candidats étaient très aimables. Chacun des candidats avait son propre parcours à partager : d'où viens-tu ? pourquoi t'es tu inscrit ? comment as tu gagné ? quel est ton sujet de thèse ? Éblouissant ! Le lendemain nous sommes passés l'un après l'autre sur scène. J'étais impressionnée par toutes les prestations à tel point qu'à chaque fois qu'un candidat passait sur scène, je me disais « je suis sûre que c'est lui qui va gagner ». Je me suis dit cela pour les 20 premiers candidats. Ensuite, j'ai décidé d'atténuer la pression que je me mettais, de profiter de ce moment et de laisser la décision au jury. En dépit du fait que je connaissais peu les candidats, je trouvais que le style de prestation de chacun reflétait leur personnalité : les drôles, les stratégiques, les poétiques, etc.

Le lendemain, les résultats ont été annoncés. Mon aventure s'est arrêtée là, avec que de bons souvenirs, de bonnes connaissances et une grande évolution personnelle. J'ai beaucoup apprécié le moment après les résultats où les membres du jury avaient noté sur un grand cahier, nos photos, nos noms et quelques commentaires. Nous avons par la suite dialogué avec eux pour savoir quels seraient les points à améliorer pour les éventuels prochaines fois.

MT180 en trois mots

Finalement, ma participation à la demi-finale m'a offert une énorme visibilité dans le domaine scientifique. Ce concours m'a également permis de bien expliquer le sujet de ma thèse à mon entourage. J'ai bien sûr mentionné ce prix sur mon CV avec un lien vers la vidéo Youtube⁴ de ma présentation. J'ai gagné beaucoup de confiance dans mon expression en français. Enfin, c'est grâce à ma participation à la demi-finale que j'ai été sélectionnée parmi les demi-finalistes par le ministère de

4. <https://youtu.be/YxpEjQrNk1E>.

l'Enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation (MESRI) pour un voyage d'études au Centre commun de recherche de la Commission européenne à Ispra en Italie.

MT180 est beaucoup plus qu'un concours, qu'un gagnant ou qu'un perdant. Mon dernier exercice, résumer MT180 en trois mots : science, partage et plaisir !



L'impossible surveillance générale

Jean-Paul Delahaye¹

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 PROBLÈME DES TROIS CARTES

Le présentateur met trois cartes dans un chapeau. La première carte est rouge sur ses deux faces (*RR*), la seconde blanche sur ses deux faces (*BB*), la troisième rouge d'un côté et blanche de l'autre (*RB*).

Le présentateur demande à une personne qui a les yeux bandés de prendre une carte du chapeau, de la sortir en n'en montrant qu'une face au hasard. La face montrée est rouge. On s'intéresse alors à la couleur non visible de la carte choisie.

Le présentateur vous propose un pari sur la couleur de la face non visible de la carte choisie : il vous donnera cinq euros si la couleur choisie est blanche, vous lui donnerez quatre euros si elle est rouge. Est-il dans votre intérêt de parier ?

Vous vous dites : « La carte choisie est l'une des cartes *RR* ou *RB*. Si c'est la première, la face cachée est rouge, si c'est la seconde la face cachée est blanche. La carte choisie a été tirée au hasard, il y a donc une chance sur deux que ce soit l'une ou l'autre, et donc que je gagne. Le pari proposé m'est donc favorable. J'accepte. »

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.

Vous avez tort d'accepter. Pourquoi ?

SOLUTION.

Merci à Ronan Jahier, Éléonore Batto et Éric Wegrzynowski pour les bonnes réponses envoyées.

Il y a six faces possibles : R_1, R_2 pour la première carte, B_1, B_2 , pour la seconde carte, R_3, B_3 pour la troisième carte. Le tirage a consisté à choisir une carte au hasard, puis à choisir une face au hasard. Le tirage est donc équivalent à choisir une face au hasard parmi $R_1, R_2, B_1, B_2, R_3, B_3$. Chacun des choix est équivalent et a donc une probabilité de $\frac{1}{6}$ de survenir. L'information dont je dispose est que je suis dans l'un des cas R_1, R_2 ou R_3 ; chacun ayant la même probabilité de survenir qui est donc $\frac{1}{3}$. Si je suis dans le cas R_1 , l'autre face de la carte est R_2 , donc rouge. Si je suis dans le cas R_2 , l'autre face de la carte est R_1 , donc rouge. Si je suis dans le cas R_3 , l'autre face de la carte est B_3 donc blanche. Il y a donc deux chances sur trois pour que l'autre face soit rouge. Le présentateur à deux chances sur trois de gagner, je n'ai pas intérêt à accepter son pari.

Si vous doutez de cette solution, faites un programme qui simule le tirage au sort de la carte, puis de la face et ne retenez que les cas où la face choisie est rouge. En faisant la simulation un grand nombre de fois, comptez le nombre de fois où la face cachée de la carte choisie est rouge [1].

Nouveau problème

L'IMPOSSIBLE SURVEILLANCE GÉNÉRALE

Les citoyens d'un régime totalitaire doivent se surveiller mutuellement. On suppose que la distance entre deux citoyens n'est jamais la même, ce qui est une situation probable si on mesure les distances avec une grande précision. Le dictateur veut que chaque citoyen soit surveillé par au moins un autre. Parce que c'est plus efficace et simple à mettre en place, chaque citoyen surveille le citoyen le plus proche de lui. Il y a un nombre impair de citoyens.

Montrez qu'un citoyen au moins n'est surveillé par personne... et peut donc engager la lutte contre le dictateur sans être pris.

Envoyez vos réponses à jean-paul.delahaye@univ-lille.fr. Les noms des premiers lecteurs à me donner la bonne réponse (et à la justifier) seront mentionnés dans le prochain numéro de 1024.

Références

[1] Steven Pinker *Rationalité*. Editions Les Arènes, Paris, 2021.

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>



1024

Bulletin de la Société informatique de France



Institut H. Poincaré · 11 rue Pierre & Marie Curie · 75231 PARIS Cedex 05

