

L'Équipe Systèmes (1975-1980) et la genèse de la recherche en informatique au Cnam

Camille Paloque-Bergès, Loic Petitgirard

▶ **To cite this version:**

Camille Paloque-Bergès, Loic Petitgirard. L'Équipe Systèmes (1975-1980) et la genèse de la recherche en informatique au Cnam. Cahiers d'histoire du Cnam, 2017, La recherche sur les systèmes : des pivots dans l'histoire de l'informatique, vol.07 - 08 (1), pp.25-56. hal-03021946

HAL Id: hal-03021946
https://hal.science/hal-03021946

Submitted on 24 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'Équipe Systèmes (1975–1980) et la genèse de la recherche en informatique au Cnam

Camille Paloque-Berges
HT2S, Cnam.

Loïc Petitgirard
HT2S, Cnam.

Résumé

Cet article retrace le moment de genèse scientifique et institutionnelle du laboratoire d'informatique du Cnam (Cédric) : la période 1975-1980, marquée par l'émergence d'une cohérence de recherches autour des systèmes informatiques et d'un groupe baptisé « Équipe Systèmes ». Nous montrons le processus de formulation d'un programme de recherche mobilisant des acteurs (chercheurs, enseignants, ingénieurs en formation) dans un lieu spécifique (le Laboratoire de calcul) dans le contexte particulier du Cnam. Nous analysons les modes d'organisation (interne au collectif et en rapport avec l'institution), les négociations autour de la reconnaissance du collectif et comment cette dynamique influe sur celle de l'établissement en matière d'équipement informatique. Pour étayer nos analyses, nous avons élaboré et mobilisé deux corpus : les publications scientifiques du collectif en évolution, permettant de qualifier la dynamique scientifique à l'œuvre ; un corpus bibliographique de tous les mémoires d'ingénieur Cnam sur la période étendue (1968-1990), pour situer la place des ingénieurs à différentes échelles.

Mots-clés *:* histoire de l'informatique ; institution scientifique ; systèmes informatiques ; systèmes d'exploitation ; expérimentalisme ; formation des ingénieurs ; légitimation des savoirs.

Le laboratoire Cédric, Centre d'Études et Recherche en Informatique du Conservatoire national des arts et métiers, qui apparaît sous ce nom en 1988, voit son existence administrative validée par les instances de l'établissement en 1990. Il est l'aboutissement de quinze ans d'efforts des informaticiens du Conservatoire pour développer une équipe visible et reconnue dans le champ disciplinaire français et international. Nous nous concentrons ici sur le moment de genèse à la fois scientifique et institutionnelle de ce laboratoire, que nous avons circonscrit à la période 1975-1980. Cette période est en effet marquée par l'émergence d'une première cohérence thématique de recherches, chez les protagonistes de la création du Cédric, autour du domaine des systèmes informatiques – en particulier les systèmes d'exploitation, centralisés et répartis, à partir de 1975. Dans les cinq ans qui suivent, plusieurs publications internationales sont parues sur le sujet majoritairement du fait de Claude Kaiser, l'un des instigateurs principaux d'une dynamique de recherche en informatique dans l'établissement, dans la continuité de ses travaux antérieurs à son arrivée au Cnam. Apparaissent également les premiers mémoires d'ingénieur, thèses et rapports de recherche produits par des informaticiens de l'établissement dans le domaine des systèmes informatiques. Ils sont accompagnés des premiers projets, contrats, collaborations et séminaires sur un sujet qui va devenir central pour ce collectif. Celui-ci, qui se donne le nom de « Groupe / Équipe Systèmes » inscrit ses activités au cœur du Laboratoire de calcul attaché au département Mathématiques-Informatique[1].

Cette courte période, 1975-1980, permet d'interroger comment un programme général de recherche se formule et se précise en mobilisant des chercheurs dans un lieu spécifique, le Laboratoire de calcul, dans le contexte particulier du Conservatoire. En effet, c'est un établissement dont le projet scientifique est tourné vers les applications industrielles et dont l'une des missions essentielles consiste dans la formation supérieure des techniciens et ingénieurs des différents secteurs de l'industrie. Celle des ingénieurs Cnam en particulier est un pivot entre les activités de recherche et cette mission de formation. Le groupe en train de se former

1 La dénomination « Laboratoire de calcul » désigne un service nommé « Centre de calcul » né dans la décennie précédente au Cnam, une salle d'ordinateurs destinée à répondre aux besoins de différents départements en matière de calculs scientifiques et de travaux pédagogiques. Il est depuis 1968 sous l'autorité du département Mathématiques-Informatique qui vient d'être créé. En 1975, il a pris le nom officiel de « Laboratoire d'informatique ». Dans les années 1990, il sera détaché du département, ne sera plus limité à des fonctions de support à l'enseignement et la recherche, pour devenir un service de support des équipements informatiques et des systèmes d'information de tout l'établissement, sans lien direct avec les laboratoires de recherche et les départements pédagogiques. Les acteurs interrogés utilisent pour le désigner sans distinction les termes « Laboratoire de calcul », « Centre de calcul » et « Laboratoire d'informatique » — ce dernier étant le terme officiel pendant la période étudiée pour cet article. Dans le cadre de ce texte, cependant, on lui préférera l'appellation « Laboratoire de calcul », afin d'éviter la confusion avec l'Équipe Systèmes, elle-même parfois appelée « Laboratoire de Systèmes Informatiques » par les acteurs, qui préfigure le laboratoire de recherche Cédric qui naîtra plus d'une décennie plus tard.

développe en effet une Unité d'enseignement (dite « valeur C »), dernier jalon dans le parcours de formation des ingénieurs propre au Cnam. Ces enseignements nourrissent les travaux des futurs ingénieurs en même temps qu'ils sont mis en capacité de devenir des collaborateurs des projets de recherche du groupe.

On interroge alors la construction de ce collectif de chercheurs et d'ingénieurs, à partir de l'impulsion donnée par un chercheur aguerri arrivé en 1975 de l'IRIA[2], Claude Kaiser, à des recherches sur la thématique des systèmes informatiques. Par collectif, nous désignons tout d'abord l'équipe de recherche en train de se construire à partir de 1975 et dans laquelle se trouvent des protagonistes majeurs de la fondation du Cédric en 1988-1990. Entité souple, elle évolue dans le temps et au gré de collaborations avec les acteurs de son environnement. Ainsi, nous ne considérons pas ce collectif comme un groupe figé de personnes dont l'appartenance à une même dynamique de recherche serait univoque et revendiquée. La définition du collectif intègre pleinement la dimension collective du travail de recherche dans ses contours des plus formels aux plus informels : co-autorité d'articles ou d'ouvrages, participation à des associations, travail commun ou partagé autour de logiciels et de machines, identification stricte ou plus lâche à des structures institutionnelles elles-mêmes en mutation (département, laboratoire, équipe, établissement). En bref, ces différentes dimensions définissant de manière souple le collectif sont elles-mêmes des expressions du collectif.

Comment se définit ce collectif en rapport avec l'environnement scientifique et technique du département Mathématiques-Informatique qui organise les activités pédagogiques dans le domaine ? Quelles négociations institutionnelles se déploient autour du statut et de la reconnaissance de l'équipe et de ses personnels entrant en recherche ? Enfin, en quoi cette dynamique vient-elle influencer en retour la politique d'acquisition du parc de machines, soutien aux activités de recherche et d'enseignement ? Ce cas particulier illustre selon nous une partie des processus de légitimation institutionnelle de la discipline informatique en France. En effet, jeune discipline explicitement définie par ses relations opérationnelles avec l'ingénierie, l'informatique est à l'époque en train de surmonter une difficile reconnaissance due à son « défaut » de théorie. Or, le Conservatoire est un établissement dont l'identité scientifique et technique est homologique avec la place particulière qu'occupe l'informatique au sein du champ académique, en cours de reconnaissance par le Comité Consultatif des universités et du CNRS précisément en ce milieu des années 1970. Notre intérêt pour ce cas ne repose donc pas tant sur les accomplissements d'une équipe ayant marqué l'histoire des innovations informatiques, que sur son

2 Institut de Recherche en Informatique et Automatique, devenu en 1979 l'INRIA (avec l'ajout de « National » dans le nom).

positionnement dans un champ institutionnel, modeste mais exemplaire et révélateur des évolutions de l'époque.

Pour répondre à ce questionnement, nous présenterons tout d'abord les sources et surtout les deux corpus construits et mobilisés dans nos analyses. Outre les archives et entretiens avec les acteurs, un premier corpus recense les publications scientifiques du collectif en évolution, permettant de qualifier la dynamique scientifique à l'œuvre. D'autre part, étant donné la place des ingénieurs en formation dans cette dynamique, nous avons pu construire un corpus bibliographique de tous les mémoires d'ingénieur Cnam soutenus sur une période étendue (1968-1990).

Nous détaillons ensuite les dynamiques d'émergence, de convergence et de cohérence des projets de recherche sur la thématique des systèmes : nous suivons des parcours individuels et différentes trajectoires signant l'émergence d'un collectif. Nous pointons ensuite la diversification et la spécialisation en domaines thématiques initiées par cette dynamique, que nous cherchons à inscrire dans les différentes strates du contexte institutionnel : celle du Laboratoire de calcul, afin de prendre la mesure de la collectivisation de la recherche et de sa relation aux machines du Cnam ; celle du département Mathématiques-Informatique et des conditions d'exercice de la formation professionnelle et des ingénieurs[3]. Dans une dernière partie nous remobilisons en termes thématiques et statistiques les mémoires d'ingénieur Cnam pour circonstancier des trajectoires d'ingénieurs passés par l'Équipe Systèmes et pour donner une vue d'ensemble sur les évolutions thématiques de ces travaux d'ingénieurs en formation sur une période un peu plus large.

Les deux corpus construits pour les analyses

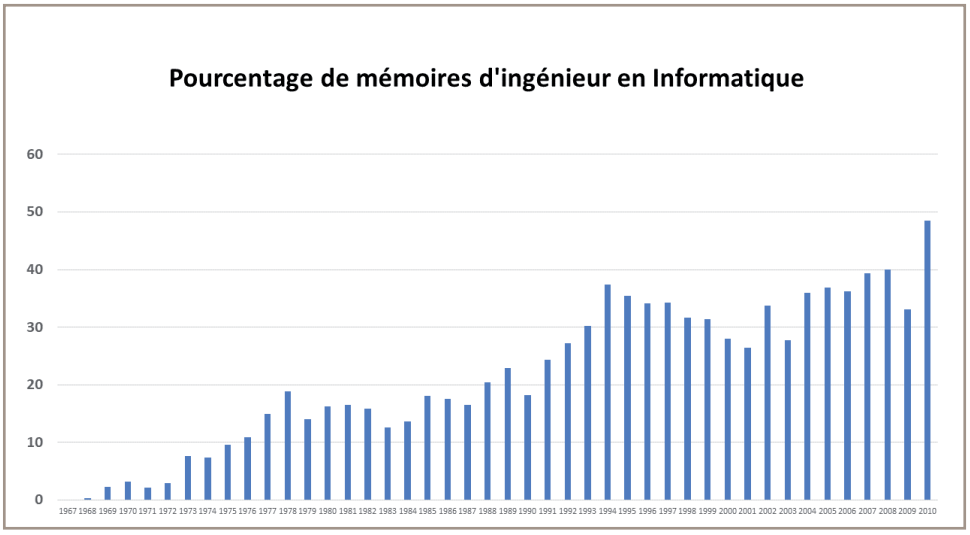
Cet article s'appuie sur un ensemble d'archives (administratives et scientifiques) : des projets et bilans d'activités de recherche[4], de publications académiques, de mémoires d'ingénieur, et d'entretiens réalisés avec les acteurs[5], sur la période qui nous occupe. La diversité de ces sources nous permet de multiplier les points d'entrée et perspectives sur les dynamiques à l'œuvre. Précisons en quelques mots les deux corpus en construction avec leurs spécificités : celui des publications scientifiques du collectif qui conduira au Cédric d'une part, et des mémoires d'ingénieur Cnam en informatique, d'autre part[6].

3 Nous remercions Claude Kaiser pour sa relecture attentive et ses compléments d'information.

4 Dossiers administratifs du Laboratoire d'informatique, ou « Laboratoire de calcul » (*cf.* note 1) [Archives Cnam, Dossiers Laboratoire d'informatique, 1972-1980, 1 carton, 34-02.11 B11-B12].

5 À ce jour, deux longs entretiens ont été effectués avec les deux premiers chercheurs de l'Équipe Systèmes, et parmi les fondateurs du Cédric : Claude Kaiser (Neumann & *al.*, 2016) et Gérard Florin (dans ce volume).

6 Les requêtes effectuées automatiquement sur les publications et les mémoires constituent l'étape



© Loïc Petitgirard

Figure 1 : Pourcentage de Mémoires d'ingénieur en Informatique

Pour constituer le premier corpus, nous avons confronté une liste de noms de publiants tirée des bilans de recherche des rapports d'activité de l'Équipe Systèmes à une requête bibliographique automatisée sur les bases de données de l'édition scientifique les plus susceptibles de référencer des articles en science informatique (ACM Digital Library, IEEE, Springerlink, *Techniques de l'ingénieur*, Google Scholar)[7].

En parallèle, nous avons construit un second corpus, recensant les mémoires d'ingénieur du Cnam. La bibliothèque du Conservatoire en possède une collection complète, nous permettant de constituer un inventaire sur les thématiques nous occupant. En limitant à cette période et thématique, en choisissant de centrer le corpus sur les mémoires produits au Cnam à Paris (et non dans les régions où par ailleurs le Cnam est présent), le corpus rassemble 600 mémoires[8]. Il nous permet d'être exhaustif sur les individus, ingénieurs en formation, impliqués dans cette période, d'une part, en gardant à l'esprit que cette implication est de nature

préliminaire d'un travail de réalisation d'un système documentaire web capable d'organiser, d'analyser et d'afficher ces sources. Voir Kembellec & *al.* dans ce volume.

7 Cette requête a été opérée plus largement à partir des noms recensés dans la bibliographie fondatrice du projet Cédric défendu au conseil scientifique en 1988-1989, afin de déterminer en rétrospective ce que publient les acteurs fondateurs du laboratoire avant sa création administrative – les résultats n'ont pas encore été confrontés aux archives post-1980.

8 Nous avons pris le parti de construire un corpus étendu, sur une période plus large 1968-1990, le terme « informatique » apparaissant pour la première fois dans ces mémoires en 1968 ; et pour englober l'installation du laboratoire Cédric.

variable : nous y trouvons des futurs ingénieurs qui deviendront des acteurs majeurs du Cédric, et d'autres ingénieurs en formation qui sont en fait très extérieurs à la problématique de la recherche en informatique au Cnam. D'autre part, nous analysons le corpus en termes thématiques et statistiques, dans la suite de l'article.

Mobilisant la base de données plus générale des mémoires d'ingénieur Cnam (tous domaines confondus), et à titre indicatif dans cet article, nous avons également pu faire un traitement statistique rapide pour quantifier la place prise par l'informatique dans les mémoires d'ingénieur réalisés au Cnam, sur la période très étendue 1968-2010, sur toute la France. Cela correspond à un ensemble de plus de 20 000 mémoires d'ingénieur au total.

Cette série statistique permet d'indiquer d'emblée que l'émergence de l'informatique au Cnam se produit sur la période 1974-1981. Cette émergence est suivie d'une période de stabilisation de la formation d'ingénieurs dans le domaine au fil des années 1980, jusqu'à une nouvelle dynamique, coïncidant avec l'institutionnalisation de l'informatique dans le laboratoire Cédric. Ces éléments n'ont qu'une valeur heuristique, néanmoins indicative de l'émergence que nous analysons dans cet article[9].

Un bilan et un programme scientifique pour l'informatique au Cnam

Prenant acte d'une activité en informatique très diverse et très éclatée dans les structures du Cnam, en 1975, le directeur Laurent Citti sollicite ses équipes pour dresser un bilan sur le sujet en vue du 7e plan d'établissement. C'est Claude Kaiser, recruté l'année précédente comme « maître de conférences »[10], qui remet le rapport pour le département Mathématiques-Informatique, intitulé « Prolégomènes à une politique de recherche en informatique ».

Kaiser a interrogé quinze de ses collègues et pris connaissance de deux études de 1972 : l'une de la commission Wisner sur l'état de la recherche au Cnam, l'autre de l'OCDE sur les problématiques et perspectives de la recherche fondamentale en informatique. La discipline est depuis cette même année reconnue sur le plan institutionnel, grâce à la création de

9 L'analyse des évolutions pendant les années 1980 et jusqu'en 2010 sort du champ de cet article. Il est manifeste que d'autres dynamiques sont à l'œuvre au-delà de 1990. Et il faut souligner que l'informatique prend une place considérable dans la formation des ingénieurs au début du XXIe siècle : 50 % des ingénieurs Cnam traitent des questions informatiques (contre 10 % en moyenne sur notre période d'émergence). Signe du poids pris par la discipline dans l'établissement, et dans le tissu socio-industriel plus largement.

10 À cette époque, avec une thèse d'État (équivalent de l'HDR actuelle), validée par le CCU (équivalent du CNU actuel) et étant inscrit sur la Listes d'Aptitude aux Fonctions de Maître de Conférences (LAFMC), un enseignant « de rang A » était recruté comme « Maître de conférences ». Ce n'est que plus tard que cette appellation sera transformée en professeur des universités par la ministre Alice Saunier-Séité. Il y a au Cnam un corps spécial avec des assistants, des maîtres-assistants et des sous-directeurs de laboratoire qui étaient nommés sans qu'ils aient de thèse (de 3e cycle, équivalent de la thèse actuelle, ou de docteur-ingénieur).

la sous-section CCU (Comité consultatif des Universités) « Informatique fondamentale et appliquée » et de la section CNRS « Informatique, automatique, analyse des systèmes et traitement du signal » (Mounier-Kuhn, 2010), en sus de son insertion dans une section multidisciplinaire du CNRS, « Sciences pour l'ingénieur » (Ramunni, 1995).

Un bilan, après 20 ans d'installation de l'informatique au Cnam

En 1975, Kaiser fait le constat d'une recherche quasi inexistante, dispersée, et non-publiante des informaticiens du Cnam, qui en outre ne seraient pas connus des industriels. En somme, dans leurs travaux de recherche, les informaticiens du Cnam ne sont reconnus ni de l'académie, ni de l'industrie. L'opinion de Kaiser sur le besoin d'une stimulation à la recherche s'appuie sur l'idée sous-jacente que l'établissement a non seulement été pionnier dans la formation en informatique, mais aussi que son identité se fonde historiquement sur la mise en relation de ces deux mondes.

On peut ajouter au raisonnement de Kaiser que cette situation est le fruit de plus de vingt ans d'évolution de la place de l'informatique au Cnam : depuis son installation dans l'institution, l'informatique a en effet suivi plusieurs trajectoires, liées aux évolutions des enseignements et à l'équipement en ordinateurs, relativement tardif dans le contexte international, par rapport au monde anglo-saxon (Neumann, Petitgirard & Paloque-Berges, 2016). L'informatique a trouvé sa place dès les années 1950 au Cnam, en lien avec les enseignements de mathématiques appliquées, de comptabilité (concernée au premier chef par la mécanographie), et l'électronique. L'informatique enrichit l'approche appliquée caractéristique des formations du Cnam en lien avec les demandes industrielles (constructeurs de matériel d'abord, puis les sociétés de services en informatique). Cette période pionnière voit la création du département Mathématiques-Informatique et de l'IIE (Institut d'Informatique d'Entreprise) en 1968, ainsi que l'installation de chaires dédiées à la discipline. Le département grossit rapidement en raison du développement très rapide de l'informatique : passant de deux à cinq chaires, regroupant douze à quinze enseignements selon les périodes, il présente une offre diversifiée. Il est divisé en trois spécialités : Mathématiques pures et appliquées, Mathématiques des cours d'Économie, et Informatique. Cette dernière filière comporte trois matières principales : Formulation mathématique du comportement des systèmes physiques en vue du traitement sur ordinateur (Jean Girerd[11]), Recherche

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

Opérationnelle (Robert Faure), Machines mathématiques (Paul Namian). Une quatrième matière s'y adjoint en 1973, avec la nomination de François-Henri Raymond à la chaire d'Informatique Programmation (Informatique théorique, méthodes de programmation) : alors que Raymond quitte le monde industriel[12], cette chaire est créée pour lui par Alexis Hocquenghem, par ailleurs titulaire de la chaire de Mathématiques appliquées et directeur du département. L'informatique est enfin sujet et moyen d'expérimentation pédagogique au Cnam, ce qui en a fait une thématique très populaire notamment grâce à la diffusion télévisée des cours de Paul Namian, chaire de Machines mathématiques (Hayat & Petitgirard, 2014). Ces quelques éléments éclairent ainsi le contexte pédagogique et scientifique avec lequel Kaiser doit composer en 1975, et fixent aussi les limites des orientations qu'il est possible de construire.

Des orientations scientifiques entre « héritage » et « futur laboratoire »

Nous soulignons l'implication des enseignants du Cnam dans la formation à l'informatique, mais le rapport de 1975 souligne lui leur faible activité de recherche et leur absence de volonté d'en faire : ce n'est pas leur « *identité* » selon Kaiser. Ce dernier, soutenant que la recherche devrait justement être un facteur de formation permanente des enseignants, propose alors deux axes de développement : d'une part impulser une recherche fondamentale en informatique, prenant acte de la spécificité du lieu où elle se déploiera (c'est-à-dire pas une université ou un établissement dédié à la recherche) ; d'autre part, assurer la modernisation du matériel et des moyens à disposition.

En effet, argumente-t-il, la discipline informatique est jeune, tout juste différenciée des mathématiques dont elle emprunte certains concepts mathématiques et logiques, sans pour autant en être une « *branche* ». Prenant à cet égard son indépendance par rapport aux mathématiques appliquées, elle est en train de se faire une place au sein des sciences de l'ingénieur, comme « *science du traitement, du stockage et de la communication de l'information considérée comme support des connaissances* » (Kaiser cite ici le rapport de l'OCDE). Elle est donc en pleine construction de son arsenal théorique et conceptuel, tout juste reconnue dans une épistémologie qui lui est propre, expérimentale, et prenant sens dans l'outil physique qu'est l'ordinateur. Les travaux théoriques et pratiques autour des systèmes, comme on le verra, jouent déjà un rôle crucial dans cette dynamique. En plein processus de légitimation académique, l'informatique ne peut toutefois oublier qu'elle est un des ressorts de l'activité industrielle, propulsée au-devant de la scène par le Plan Calcul. En ceci, Kaiser

12 Raymond sort en effet d'une période difficile liée à la place de son entreprise, la SEA, dans le contexte de la fin du Plan Calcul et de la réorganisation industrielle par l'État (Mounier-Kuhn, 2006).

remarque que les rapports soulignent les risques que la discipline encourt, à savoir verser dans les résultats immédiats et les développements demandés par l'industrie, et s'écartant d'une logique de recherche. Le Cnam, avance-t-il, est un lieu idéal pour réconcilier les deux « *dérives* » de la discipline en formation, la voie mathématique, trop abstraite et la voie industrielle, trop appliquée : il s'agira selon lui d'approfondir les concepts tout en dialoguant avec les industriels. Au cours de nos entretiens avec les membres du groupe réunis peu après autour de Kaiser, on entendra également que les industriels sont moins méfiants à l'égard des chercheurs Cnam qu'à l'égard des universitaires plus classiques, en raison de la tradition de collaboration de « l'esprit Cnam » avec l'industrie. Ainsi la légitimation de l'informatique comme domaine de recherche au Cnam cristallise les problématiques de la discipline en général.

Kaiser ajoute qu'il faudra moderniser le matériel, recruter des enseignants et ingénieurs désireux de recherche (« *de rang A* »), les former, ainsi que le reste du personnel (ingénieurs et techniciens) grâce à l'offre scientifique (séminaires, colloques…), développer les collaborations nationales et internationales. En somme, mettre en place une véritable politique de moyens en équipement et ressources humaines, sur le modèle des grands centres de recherche qui se développent, comme le MIT aux États-Unis et le technopôle scientifique de Grenoble en France, qu'il cite parmi d'autres. Cette politique sera un des autres outils de la légitimation de l'équipe de recherche en formation, mais elle se heurtera, comme on le verra plus loin, à la politique scientifique et technique de l'établissement et du gouvernement au sortir du Plan Calcul.

Les orientations scientifiques générales, proposées par Kaiser comme « *l'amorce d'un futur laboratoire* », se fondent sur les retours de ses collègues – un document issu sous forme de note interne précisera plus tard dans l'année les intitulés et responsables des différents programmes. Selon ce document, la première orientation est logiquement celle du titulaire de chaire en Informatique et Programmation depuis 1973, François-Henri Raymond, qui propose des recherches sur la programmation théorique et pratique. Précisons que deux autres chaires donnent leurs orientations aux enseignements du département Mathématiques-Informatique : celle d'Alexis Hocquenghem, titulaire de la chaire de Mathématiques appliquées, lequel était engagé dans des recherches dans le domaine dans les années 1950, mais s'en est écarté depuis ; et celle de Paul Namian, titulaire de la chaire Machines mathématiques, qui en raison de forts conflits avec ses collègues, se tiendra à l'écart de toutes les activités collectives[13]. Le programme de Raymond, intitulé « Théorie de la programmation », a pour but de « *faire avancer les méthodes et conceptions* » sur la base d'une analyse de l'algorithmique déductive, dans le cadre d'une

13 Sur la question des chaires, voir les textes de Claudine Fontanon et de Cédric Neumann dans ce même volume.

algèbre du calcul algorithmique. Mais il ne trouvera pas d'ancrage pour ce programme ambitieux au Cnam qui, de fait, ne laissera pas de traces dans les bilans et rapports des années suivantes[14]. Il est paradoxal que cette figure très importante de l'innovation française en informatique, ayant joué un rôle pionnier dans l'industrie de la construction d'ordinateurs, à la réputation d'« *ingénieur savant* » sachant dialoguer aussi bien avec les industriels qu'avec les universitaires, aux capacités d'inventivité et d'abstraction hors norme (Mounier-Kuhn, 2006), n'ait joué qu'un rôle de parrainage indirect dans la genèse de la recherche au sein de l'établissement où il détient un poste de chaire important. La théorie de la programmation trouvera un nouvel essor au sein du Cnam une dizaine d'années plus tard, avec l'arrivée, depuis l'IRIA, de Véronique Donzeau-Gouge sur un poste de professeur des universités.

Une deuxième orientation ne laissera pas de trace dans les archives après 1975 ni dans la mémoire des acteurs, à savoir l'axe « Recherches pédagogiques ». Il est à noter que se déploie parallèlement un projet de visualisation programmée sur écran des fonctions et des processus mathématiques, pour illustrer l'enseignement des mathématiques de cycle A du Cnam. Ce projet de pédagogie des mathématiques, porté par le Centre de Recherche et d'Expérimentation pour l'Enseignement des Mathématiques (CREEM), qui développe un « *enseignement programmé* », à savoir des « *réflexions sur les processus d'apprentissage et les manières de les améliorer, optimiser et automatiser* » (Neumann & *al.* 2016), ne relève cependant pas de la recherche en programmation informatique et n'est donc pas mentionné dans le document. Cependant, le nom de Frédéric Sourdillat, ayant participé aux côtés de Jérôme Chastenet de Géry à ces travaux, apparaîtra dans les rapports ultérieurs en tant qu'« *ingénieur chargé des télétransmissions et de l'enseignement assisté par ordinateur* », ayant passé une thèse en 1975 en lien avec cette thématique[15].

La troisième orientation, sur la thématique de l'informatique de gestion, se réalisera bien dans les années suivantes. Mentionnée dans les futurs rapports de recherche de l'Équipe Systèmes[16], elle se concrétisera en particulier dans les

14 Selon les témoignages de Kaiser et de Florin, l'activité de recherche de Raymond s'est à cette époque essoufflée – il se dirige vers la fin de sa carrière – et n'a pas trouvé au Cnam l'ancrage qu'il espérait, en partie du fait de l'aspect trop abstrait et très individuel des propositions de Raymond assorti d'un haut niveau en mathématiques absent du Conservatoire à l'époque. Les noms de Gérard Cesaroni, ancien élève de l'ENS Ulm en mathématiques et assistant au Cnam, et de François-Yves Villemin, également assistant, sont associés dans ce bilan prospectif aux projets de Raymond. Les acteurs interrogés témoignent de quelques travaux, mais aussi du fait qu'ils n'aboutiront pas.

15 Frédéric Sourdillat, « Réalisation d'un système d'enseignement de logique électronique assisté par ordinateur », 1975, thèse de troisième cycle, Université Paris 6. Il est affilié au « groupe recherche » du Laboratoire de calcul la même année.

16 En tant que programme de recherche, ou par le biais de ses chercheurs. On peut supposer que les archives de l'IIE abritent des documents de bilan propres et plus détaillés que dans celles du laboratoire de calcul.

stages des élèves ingénieurs de l'IIE (Institut d'Informatique d'Entreprise du Cnam) aux côtés des chercheurs sur les systèmes. On retrouve d'ailleurs l'intitulé « Systèmes informatiques de gestion » pour qualifier cette orientation dans un programme proposé par Étienne Pichat, directeur de l'IIE à l'époque, qui dirige également un séminaire de recherches sur le sujet. Ce programme est orienté sur les systèmes informatiques et d'information du point de vue des méthodes, concepts algorithmiques et outils. Rassemblant sur le papier une petite dizaine de personnes, on y retrouve par exemple Alain Cabanes, qui fut le prédécesseur de Gérard Florin à la (sous-) direction du laboratoire de calcul[17], et qui se spécialisera dans les bases de données. Dans cette décennie des années 1970, l'informatique de gestion dispensée à l'IIE est alignée au projet en construction. Les élèves ingénieurs de l'IIE participeront aux projets informatiques en construction, du fait de cet alignement et de leur formation de très bon niveau. En effet, il s'agit d'une école d'ingénieur qui propose plusieurs axes de formation : les mathématiques supérieures (nécessaire pour accréditer le diplôme de l'école auprès de la commission des titres), la gestion et l'informatique en vue des applications à la gestion (dont le sujet des bases de données et le calcul scientifique). Ce cursus se distingue par ailleurs de celui des « ingénieurs Cnam », car l'IIE forme des ingénieurs en formation initiale : les élèves de l'IIE ont un stage de 3e année à réaliser en entreprise, c'est dans ce cadre qu'ils émargeront dans les projets de l'Équipe Systèmes[18].

Dernière orientation préconisée par Kaiser, celle qui nous préoccupe particulièrement ici : l'architecture des systèmes informatiques, qui sera renommée entre 1975 et 1980 « conception des systèmes » ou alternativement « systèmes informatiques » et « systèmes répartis ». Ce programme sera au cœur de l'Équipe Systèmes, objet principal des rapports d'activité consignés au laboratoire de calcul. Le groupe de recherches sur les systèmes se réunit à l'IIE pour des séances de travail autour de « *discussions scientifiques* »[19] posées par l'activité en systèmes informatiques aussi bien pour la recherche que pour l'enseignement.

17 La direction du Laboratoire d'informatique échoie à un professeur de chaire, mais c'est le « sous-directeur », qui a par ailleurs un poste de Maître de conférences ou de Maître assistant au Cnam – c'est le cas de Gérard Florin – qui en opère sa direction effective.

18 Par la suite, dans les années 1980, les informaticiens de gestion sont présents dans la genèse du Cédric. Leurs relations avec les informaticiens du département Mathématiques-Informatique, et en particulier ceux impliqués dans les recherches sur les systèmes, seront marquées par une différence d'objectif, mais une stratégie commune de montée en recherche. Pour l'IIE, école d'ingénieur, l'informatique est utilisée en vue des applications (gestion, bases de données, calcul scientifique), donc la recherche est d'emblée appliquée. Les séminaires feront intervenir des industriels qui par ailleurs reçoivent des élèves de l'IIE en stage. L'IIE se concentrera alors sur la consolidation de sa structure de grande école. Si Étienne Pichat soutient la participation de l'informatique de gestion au domaine de la recherche en informatique, son successeur Alain Cabanes (nommé en 1984) changera de perspective, en autonomisant l'informatique de gestion et d'entreprise de l'informatique générale.

19 Le soulignement est de Kaiser.

Enfin, il faudra mentionner au sein de ce rapport de Kaiser l'orientation « *Applications de l'informatique, l'emploi de l'outil dans ses problèmes généraux* », qui évoque un travail sur les processus, transmissions des données. Dans le document programmatique qui circule peu de temps après, un axe « *Ingénierie de l'informatique* » pourrait correspondre à cette orientation, mais il semblerait que ces éléments se soient fondus dans les programmes de l'Équipe Systèmes et des informaticiens de gestion plutôt que de créer des axes à part entière.

L'émergence d'une dynamique de recherche

Kaiser pose un diagnostic et donne un cap : mais la constitution de l'équipe de recherche correspondante n'en découle pas simplement et le soutien de la hiérarchie du Cnam n'est jamais acquis. Concrètement parlant, la constitution de l'équipe et le développement de la recherche en informatique au Cnam sont le produit de la rencontre d'une trajectoire de recherche déjà mûre (celle de Kaiser) et de quelques activités expérimentalistes et pédagogiques au Laboratoire de calcul, sous la direction de Gérard Florin. C'est aussi la rencontre de ces deux personnalités qui vont s'accorder sur la mise en œuvre de cette dynamique de recherche. Ensemble ils vont convenir d'une répartition des rôles pour gérer les différentes dynamiques à l'œuvre : négociations administratives nécessaires pour obtenir les moyens de fonctionner ; définition des orientations de recherche ; présentation et défense des lignes de recherche et de formation aux différentes instances et comités du Cnam ; organisation du collectif dans un environnement composé d'un Laboratoire de calcul, de chaires et d'un département Mathématiques-Informatique.

Nous nous concentrons donc maintenant sur ce moment fondateur et ses protagonistes, pour montrer comment se négocie la transition vers la recherche de personnels scientifiques et techniques, et d'enseignants ; et pour en indiquer les conséquences sur la structure du Laboratoire de calcul, les équipements, les moyens matériels de l'informatique au Cnam.

Claude Kaiser – une carrière déjà mûre

Claude Kaiser est recruté au Cnam en septembre 1974 et sa charge d'enseignement se partage entre les cours du soir du Cnam et l'IIE, étant entendu qu'il pourra poursuivre son activité de recherche à l'IRIA. C'est son premier poste d'enseignant après une formation à l'École Polytechnique et à l'ENSGM, une première expérience d'ingénieur au Génie Maritime associé à un développement de pointe (Kaiser & *al.*, 1967), et un poste de chercheur à l'IRIA (où il a été membre de l'équipe qui a conçu et réalisé le système d'exploitation en temps partagé ESOPE entre 1968 et 1972). Il témoignera de ce

parcours « *à l'envers* », dit-il, comme le fruit d'une curiosité pour la technique et la recherche qui l'éloignera des carrières d'ingénieurs en entreprise qu'il assimile à des parcours commerciaux (Neumann & *al*. 2016).

Le domaine novateur des systèmes d'exploitation participe à légitimer la discipline informatique, qui n'est dès lors plus considérée seulement comme un savoir-faire technique. De fait, l'équipe d'ESOPE publie et communique dès 1970 à l'ACM (Association for Computing Machinery) sur la question de la gestion des processus et du partage des ressources dans un système multi-accès, et continue dans cette voie en approfondissant les thèmes de la conception et de l'implémentation du système à partir de processus parallèles (Bétourné & *al*., 1970, 1971 ; Kaiser, 1971 ; Kaiser & Krakowiak, 1974). ESOPE deviendra un point de référence dans l'histoire de la recherche française sur les systèmes d'exploitation des ordinateurs (Bétourné & *al*., 2004 ; Beltran & Griset, 2007).

La spécialité de Kaiser relève des systèmes à temps partagé, et plus précisément la réalisation de systèmes à accès multiples à partir de la gestion du parallélisme dans les environnements à temps partagé, depuis son doctorat d'État passé à l'Université Pierre et Marie Curie en 1973 (Kaiser, 1973). À son entrée au Cnam, il est encore au cœur des activités de l'IRIA sur les systèmes d'exploitation dans leurs aspects théoriques et pratiques (Kaiser, 1974a, 1974b), et commence à se spécialiser sur la protection des systèmes, aux côtés d'anciens coéquipiers, comme Jean Ferrié, mais aussi de nouveaux – dont Didier Lanciaux et surtout Bernard Martin, ingénieur CNRS passé de l'IRIA au Cnam à la même époque (Lanciaux & Kaiser, 1976 ; Ferrié & *al*., 1976, 1974).

Le manuel CROCUS, qui traite des systèmes d'exploitation, paraît en 1975 et contribue à rendre visible et plus légitime un domaine encore peu reconnu par les chercheurs académiques. L'ouvrage a été rédigé collectivement avec ses coéquipiers de l'IRIA (Bétourné, Ferrié, Krakowiak, et Mossière), et des enseignants-chercheurs spécialisés sur le thème des systèmes de Rennes, Grenoble et Nancy. Dans un texte revenant sur l'importance historique du CROCUS, Kaiser et ses co-auteurs soulignent que ce travail a contribué à rendre visible et renforcer le statut du domaine, à un moment où le statut académique de la discipline informatique est encore très discuté, et où « *parmi les informaticiens, les spécialistes de systèmes n'étaient pas les mieux considérés* » (CROCUS, *n.d.*). Il s'agit aussi au même moment d'ouvrir un espace de formation, et le Cnam devient à l'époque l'hôte des séminaires et écoles d'été annuels initiés en 1973 sur le sujet.

Les moyens de la recherche : le rôle de Gérard Florin

Malgré cette légitimation déjà relativement avancée du domaine des systèmes d'exploitation dans l'espace de l'enseignement supérieur et de la recherche,

la seconde moitié des années 1970 sont peu favorables au développement de la recherche expérimentale en informatique en France. La légitimation de la recherche sur les systèmes d'exploitation se voit alors contrainte par un contexte de politique scientifique et technique de pénurie : Gérard Florin, sous-directeur du laboratoire de calcul à l'époque témoigne de la stagnation des crédits d'équipement au centre de calcul comme dans le département jusqu'en 1977 au moins, c'est-à-dire sous la direction de Laurent Citti[20]. Or, comme le rappelle Kaiser dans ses « Prolégomènes à une recherche en informatique au Cnam » cité plus haut, il est nécessaire d'équiper les structures en matériel comme en ressources humaines qualifiées. Comment donc les velléités de recherche au Cnam se déploient-elles dans un contexte de pénurie ? Comment les deux principaux protagonistes enclenchent-ils cette dynamique ?

Gérard Florin, recruté au Cnam comme Maître assistant en 1971, devenu sous-directeur du Laboratoire de calcul en 1975, est l'un des rares informaticiens du Cnam à avoir déjà goûté à la recherche sur les systèmes. Lors d'un doctorat de 3e cycle soutenu en 1975 à l'Université Paris 6, il expérimente la liaison entre deux ordinateurs du Laboratoire de calcul, un Modular One et un IBM 360/30 (Florin, 1975)[21]. La congruence qui s'esquisse avec les sujets chers à Kaiser constitue un premier jalon sur lequel ils vont capitaliser et développer une activité de recherche scientifique qui deviendra celle de l'Équipe Systèmes. À propos des années qui suivent, Florin évoque la mise en place d'un « *travail de recherche à peu près normal » fondé sur des « discussions scientifiques* »[22] : une veille technologique accrue partagée lors de réunions s'apparentant à des séminaires, où le groupe partage autour d'articles internationaux. En 1976, le groupe accompagne l'accueil au Cnam du séminaire de l'Association française pour la cybernétique économique et technique (AFCET)[23] sur la « *structure des machines et des systèmes* » (animé par Kaiser). Florin oriente également la formation des personnels ingénieurs et techniciens du Laboratoire de calcul au domaine des systèmes d'exploitation, en accordant et supervisant des stages et des missions en séminaires, colloques et visites d'homologues en France et à

20 Les acteurs interrogés parlent d'une époque de restrictions budgétaires, fruit de la méfiance du gouvernement, sous la présidence de Valery Giscard d'Estaing, à l'égard du milieu de l'enseignement supérieur de la recherche. Depuis 1976, Alice Saunier-Séïté (d'abord Secrétaire d'État aux Universités puis Ministre des Universités) ne ménage pas le milieu de l'enseignement supérieur et de la recherche. Laurent Citti s'est associé à la campagne présidentielle de Giscard d'Estaing, il fait partie des conseillers scientifique et technique entourant le président pendant un temps : voir le parcours de Citti au Cnam, notamment, dans Petitgirard (2015).

21 Voir aussi l'entretien avec Gérard Florin publié dans ce volume.

22 *Idem*. Le soulignement correspond à l'insistance de Florin à l'oral sur le terme en question.

23 Principale association savante de la discipline informatique en France dans les années 1970, au cœur du mouvement cybernétique et soutien des travaux en recherche opérationnel (Hoffsaes, 1988, Triclot, 2013).

l'international[24]. L'Équipe Systèmes se constitue peu à peu avec quelques enseignants-chercheurs et ingénieurs récurrents au sein de ces activités, comme les ingénieurs de recherche spécialisés dans les systèmes informatiques au Laboratoire de calcul, Humberto Caria Lucas (ingénieur contractuel) et Bernard Martin (ingénieur CNRS), principaux collaborateurs de Kaiser et Florin. Elle participe en son nom propre au groupe BIGRE de l'AFCET[25].

C'est le thème de l'informatique répartie et multi-processeurs qui engage les premiers contrats de recherche. L'attention doit alors se porter sur l'organisation et la gestion des systèmes (configuration et méthodes de programmation), la synchronisation des processus répartis, qui sont des thèmes privilégiés par Kaiser avant son arrivée au Cnam, mais aussi la gestion des objets systèmes et la fiabilité des systèmes qui y trouveront un terrain d'ancrage privilégié. La question est cruciale et porteuse, selon Kaiser dans les « Prolégomènes » sus-cités, car les structures des systèmes centralisés ne sont plus adaptées à l'offre industrielle de composants matériels construits à coûts compétitifs – soulignant ainsi au passage l'importance de l'offre industrielle dans les perspectives scientifiques du Cnam. Il faut, dit-il, simplifier, fiabiliser et rendre plus efficace l'architecture des ordinateurs – mais aussi et surtout la traiter sur le plan des classes de problèmes et non de cas particuliers. La thématique est d'autre part poussée par l'organe de financement SESORI[26], qui depuis l'IRIA est chargé d'assurer la liaison et la coordination nationale des thématiques liées à la recherche informatique avec le Plan Calcul (dont les multi et microprocesseurs font partie), afin d'assurer les débouchés industriels tout en guidant la recherche (Beltran et Griset, 2007, p. 81).

Kaiser, Florin et Caria Lucas, sont impliqués dans le premier contrat SESORI passé en 1976 avec la société TITN[27], pour l'« Étude d'un réseau arborescent de microprocesseurs pour la gestion décentralisée de processus complexes en temps réel »[28]. La présentation de ce contrat auprès des instances

24 En témoigne par exemple la participation au stage « Systèmes d'exploitation » de 1978, animé par Florin, de deux ingénieurs de recherche, Humberto Caria Lucas et Bernard Martin, d'un ingénieur spécialisé dans les transmissions, Frédéric Sourdillat, ainsi que d'un agent technique, Bourdoncle ; ou encore des missions de Caria Lucas aux colloques « Microarchitecture des systèmes informatiques » en 1975, « Programmation globale des synchronisations dans les applications en temps réel » en 1977, et aux journées AFCET « Multiprocesseurs et multiordinateurs en temps réel » en 1978, de Guy Chemla aux séminaires « Micro-processeurs », « Micro-ordinateurs » et « distributed processing ».

25 BIGRE, pour « Bulletin d'Information du Groupe de Recherche sur les outils de conception et d'écriture des systèmes opératoires », est un périodique patronné par l'AFCET et l'IRIA.

26 Service de synthèse et d'orientation de la recherche en informatique.

27 La TITN, pour Traitement de l'information et techniques nouvelles, est à l'époque une petite société d'ingénierie dirigée par Claude Guignard.

28 Il s'agit d'étudier le réseau SPS du CERN dont le système informatique est mis en place par Jacques Altaber.

du Cnam fait état notamment de l'expertise de Florin acquise pendant sa thèse et l'expérimentation de la mise en liaison de deux machines du Laboratoire de calcul, signe de l'ancrage du sujet sur le terrain du Cnam. Ainsi, l'autorité d'une dynamique de recherche ne repose plus seulement sur l'expérience scientifique de Kaiser auprès des instances administratives de l'établissement. Parmi les autres membres du projet, on trouve des ingénieurs du laboratoire de calcul (Caria Lucas et Guy Chemla), des élèves ingénieurs de l'IIE[29], signalant une collaboration active et stratégique avec les informaticiens de gestion qui ne cessera pas les années suivantes.

Dans la lignée des « Prolégomènes à une recherche en informatique » rédigés en 1975 par Kaiser, le travail avec TITN est justifié comme ne visant pas à se substituer à une application industrielle mais à travailler en parallèle de celle-ci : des solutions applicables à une classe de problèmes et non des cas particuliers. Cependant, en vertu de la spécificité du Cnam, c'est aussi une optique d'ingénierie qui est visée : « *Nous pensons, de plus, que les réalisations qui nous seront demandées dans notre activité d'ingénierie dans les années à venir, devront de plus en plus, mettre en œuvre des ensembles de processeurs et en particulier très souvent de microprocesseurs* »[30].

Diversifications et spécialisations de l'Équipe Systèmes

Les rapports de 1978-1979 sont les plus fournis, dévoilant une différenciation en thèmes de recherche avec des contrats correspondants : conception des systèmes répartis ou distribués, sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques ou du logiciel, gestion de la mémoire et génie logiciel. C'est en mettant ces rapports en perspective avec les résultats, sous la forme des publications, qu'on se rend compte que les chercheurs, élèves ingénieurs compris, peuvent passer d'un projet à l'autre, et que les thématiques ont des frontières loin d'être étanches dans la réalité des travaux.

Des collaborations thématiques

Dans la thématique « Conception des systèmes », Kaiser est omniprésent avec des recherches produites hors Cnam : sa participation au projet Chorus à l'IRIA (Rozier & *al*. 1988), ou au groupe CORNAFION pour l'ouvrage sur les systèmes répartis qui paraîtra en 1981 (Cornafion, 1981). C'est sous son

29 Hanout et Decourson, « Étude d'un réseau arborescent de microprocesseurs », mémoire IIE, 1976. L'élève ingénieure et technicienne du laboratoire de calcul Évelyne Germain sera aussi affiliée au projet. Elle passera en 1984 son mémoire d'ingénieur Cnam portant sur le langage Modula : « Application système en Modula-2 ».

30 Note interne sur la présentation du contrat TITN par Kaiser à la hiérarchie du Cnam [Archives Cnam, dossier Laboratoire d'informatique, *op. cit*.].

impulsion qu'un 2e contrat SESORI est acté, cette fois avec la SSII CERCI[31] (« *première société européenne en informatique industrielle* »), sur plusieurs projets dont des études et développements pour Peugeot, un multicalculateur à haute disponibilité pour la conduite d'un atelier mécanique (Kaiser, Langet & Poitvin, 1978 ; Kaiser & *al.*, 1978a, 1978b ; Gaudé & *al.,* 1980a, 1980b). La collaboration avec la CERCI signe le début d'une économie de la recherche pour l'Équipe Systèmes qui permet à Kaiser de négocier avec les instances du Cnam le reversement d'une partie de la taxe d'apprentissage dans les projets, dans le cadre d'une augmentation des crédits de recherche[32]. Cela permet aussi à l'équipe d'enchaîner sur un nouveau contrat SESORI-CERCI, comprenant des études pour un système de gestion en temps réel pour ESSO, donnant également lieu à un mémoire d'élève ingénieur de l'IIE[33].

La thématique de la « Sûreté du logiciel au niveau des systèmes d'exploitation » est une spécialisation dans laquelle Stéphane Natkin s'investit comme élève ingénieur au Cnam. Il jouera un rôle prédominant dès lors aux côtés de Kaiser, Florin et Martin jusqu'à la création du Cédric. La CERCI l'a embauché[34] pour les travaux sur l'atelier mécanique dans le premier contrat CERCI. Avec Martin ils occupent une partie du projet SESORI-CERCI. La question de la protection devient alors centrale dans les travaux sur les systèmes distribués au cœur du groupe[35]. Avec Florin et Bernard Lemaire, bras droit du titulaire de la chaire de Recherche opérationnelle, Robert Faure[36], Natkin s'engage dans un 3e contrat SESORI-CERCI, le projet SURF, en 1979, qui conduira Florin et Natkin à combiner les processus stochastiques et les réseaux de Petri, une avancée reconnue à l'international. Claude Kaiser insistera sur la valeur de ces travaux pour la montée en recherche de l'équipe, les décrivant comme « *une page glorieuse des travaux de recherche théorique (avec de belles difficultés mathématiques pour des systèmes stochastiques*

31 CERCI : Compagnie d'études et de réalisation de cybernétique industrielle, une SSII d'ingénierie industrielle, dans le cadre du groupe Schneider, créée en 1962. Elle est rachetée en 1986 par la Sema-Metra première SSII française fondée en 1958 [URL : http://www.feb-patrimoine.com/projet/sommaire_histoire/sea_summary.htm]. La CERCI naît « *à l'époque du partage des restes du Plan Calcul* », quand SEMS, filiale de Thomson, rapatrie ses activités de recherche à Paris, ses ingénieurs grenoblois démissionnant pour fonder des petites sociétés – dont la CERCI (Grossetti, 1995, p. 131). Kaiser avait des contacts anciens avec Philippe Sahut d'Izarn et Bernard Girard, respectivement président et directeur scientifique de la CERCI.

32 Lettre au directeur du Cnam, 1977.

33 Guesnon, « Mesures sur un système conversationnel », Mémoire IIE, 1978. Voir aussi (Guesnon & Kaiser, 1978).

34 La CERCI embauchera plus tard un autre chercheur qui sera également impliqué dans la fondation du Cédric : Éric Gressier-Soudan.

35 Natkin, « Quelques aspects de la sûreté de fonctionnement de systèmes informatiques », Mémoire d'ingénieur Cnam, 1978. Voir aussi la monographie AFCET de Bernard Martin (1979), ainsi qu'un rapport de recherche (« Problèmes de protection dans les systèmes distribués » rapport de recherche n° 3, 1978).

36 Voir la thèse de Lemaire (1978), ainsi qu'un cours préparé par Lemaire et Natkin en 1979 intitulé « Introduction à la sûreté de fonctionnement des systèmes ».

semi-markoviens) et pratique (chaîne de développement RDPS, applications avec la CERCI) du Cnam, tout à fait conforme à l'esprit de cette maison dédiée aux Arts et Métiers et de l'informatique [qui est] *forte quand elle conjugue la science et la technique* »[37]. Accompagné par plusieurs travaux d'élèves ingénieurs[38], Natkin soutient successivement en 1978 et 1979 au Cnam un mémoire d'ingénieur et une thèse de Docteur-ingénieur, cette dernière introduisant le concept de réseau de Petri stochastiques[39]. Tous deux soutiennent en 1985 une thèse d'État à l'Université de Paris 6. Le cas d'étude sera le métro de Caracas pour l'appel d'offres duquel répond la CERCI, avec donc une forte dimension applicative[40]. Un contrat est également passé avec la CII-Honeywell Bull pour des études sur le système niveau 64, qui mobilise Martin, ainsi que deux élèves ingénieurs, sur la question du traitement des erreurs de programmation système et sur la gestion de segments de tailles différentes[41].

Enfin, la thématique du « génie logiciel » s'engage sur des problèmes de portabilité et d'écriture par le biais du langage PASCAL (Kaiser & *al.*, 1983)[42].

37 Email aux auteurs, 17 avril 2017. Voir les communications conjointes de Florin et Natkin dans des congrès : « Utilisation des réseaux de Petri dans les problèmes de tolérance aux pannes » (Journées AFCET sur les schémas de systèmes parallèles, décembre 1977) ; « Utilisation des réseaux de Petri et des processus stochastiques pour la modélisation d'un protocole de communication (Journées de travail temps réel SFCET, 1978). Pour leurs thèses, voir Florin (1985) et Natkin (1980, 1985). Les réseaux de Petri ont été choisis, en raison de leur finesse et de leur capacité de visualisation, pour modéliser le comportement de systèmes informatiques. Ce modèle comportemental a été complété par des processus stochastiques qui permettent de calculer la sûreté de fonctionnement. Cet enrichissement a posé des problèmes sérieux de calcul probabiliste dont la solution formera le socle de leurs thèses d'État. Les réseaux de Petri stochastiques qu'ils ont ainsi inventés et assis sur le plan mathématique et théorique permettront de représenter des applications informatiques industrielles complexes : « *Outre leur intérêt "figuratif" et pédagogique, ils couvrent les modèles classiques (comme la file d'attente par exemple) en les généralisant* » (Natkin, contrat SURF, 1979).

38 Bernard (« Simulateur de réseaux de Pétri », mémoire IIE, 1978). *Cf.* aussi Lebeurier & Mangeol (1979), Lonc, Florin & Natkin (1979), Baconnet & *al.* (1981).

39 Les titres des mémoires étant respectivement « Quelques aspects de la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques » et « Les réseaux de Petri stochastiques et leur application à l'évaluation des systèmes informatiques ». Claude Kaiser (email *cit.*) rappelle que la composition des jurys était exceptionnellement prestigieuse pour des diplômes de ce rang : François-Henri Raymond en tant que directeur du jury, puis Robert Faure (chaire de Recherche opérationnelle), Bernard Lemaire (futur successeur de Faure à sa chaire), Bernard Girard (directeur technique de la CERCI), Jean-Claude Laprie (chargé de recherche au LAAS de Toulouse) et enfin Florin et Kaiser.

40 Selon la spécificité des recherches du Cnam, la deuxième phase du projet est applicative, consacrée à développer la chaîne RdPS (Réseaux de Pétri Stochastiques), un outil opérationnel qui doit permettre l'utilisation des réseaux de Petri stochastiques, via une interface pour des utilisateurs non spécialistes, par des ingénieurs de conception de systèmes. De nombreux mémoires Cnam ou IIE, et plusieurs thèses seront conduites au Cnam dans la lignée de ces travaux jusqu'à la fin des années 1980.

41 Mémoires IIE de Chapelain (« Application d'un schéma théorique au traitement des erreurs », 1978), Maltier (« Regroupement des petits segments », 1978) et rapport de recherche de Bernard Martin (« Gestion des noms dans le système GECOS 64, rapport de recherche n° 5, août 1978).

42 Mémoires ingénieur Cnam de J. Crouzilles (« Accès concurrent sur microprocesseur », 1979), H. Honig (« Étude et réalisation d'un programme d'aide à la composition des textes », 1979) et H. Caria Lucas (« Le BCPL : langage de programmation système »).

Ils mobilisent les ingénieurs Caria Lucas, Martin, ainsi que des élèves ingénieurs du Cnam et de l'IIE et des boursiers préparant une thèse ; mais ils s'élargissent plus généralement aux travaux sur les systèmes informatiques, avec des contributions de Kaiser, Martin, et au moins trois élèves ingénieurs IIE (Kaiser, 1978)[43]. Cet axe regroupe également les premiers travaux dits « intérieurs » au Cnam (hors contrats, sur financement du Fongécif[44]), notamment des travaux menés par des élèves ingénieurs sur la réalisation d'interfaces de réseaux en boucle[45].

Un laboratoire dans un laboratoire

Les recherches sont effectuées et consignées aux activités du Laboratoire de calcul, dont la mission est de « *mettre en œuvre les moyens de calcul nécessaires à la réalisation des travaux-pratiques d'informatique, de développer les recherches en informatique, d'offrir l'accès à ses moyens de calcul à tout utilisateur interne au Cnam* »[46]. Ce service est dirigé par un professeur de chaire, en l'occurrence Alexis Hocquenghem, mais la gestion réelle revient à un sous-directeur, à savoir Florin en 1975 après deux spécialistes d'informatique de gestion, Claude Delobel et Alain Cabanes. En 1975, il est organisé en trois groupes : la maintenance des environnements machines (mise en œuvre et maintenance, pour les usages dits scientifiques et pédagogiques), l'informatique de gestion pour l'administration (orienté vers les applications pour l'administration, en particulier la paie), et un groupe de recherche qui n'a encore de recherche que le nom, mis à part quelques travaux isolés (dont les deux thèses de Florin et Sourdillat citées plus haut). En 1976, il accueille 76 diplômes d'ingénieurs Cnam et IIE, et plus de 1 000 utilisateurs chaque année : département Mathématiques-Informatique, IIE, stages de formation continue, instituts avec une formation à l'informatique comme l'IESTO (Institut des études Économiques, Sociales et Techniques de l'Organisation).

Plus tard, Kaiser nommera parfois l'Équipe Systèmes le « laboratoire de systèmes informatiques ». De fait, le laboratoire de calcul s'oriente vers les travaux de l'Équipe Systèmes, et vice-versa. Dans les rapports de l'Équipe Systèmes, Kaiser et Florin commenceront à formaliser ces contributions

43 Les noms qui apparaissent dans les rapports de recherche consignés dans les archives du Laboratoire d'informatique sont, sans plus de précision : Maltier, Curat, Gardin.

44 Le Cnam hébergeant des formations continues, ses élèves peuvent bénéficier du Fonds de Gestion des Congés Individuels de Formation (Fongécif).

45 Mémoires IIE de Pierre Aitelli (« Définition d'une interface de réseaux en boucle », 1977), Luxardo (« Système de communication local : Étude et réalisation d'une architecture de boucle utilisant les microprocesseurs, 1979) et Rojtenberg (« Réalisation d'un système boucle », 1979).

46 Bilan et prévisions du laboratoire de calcul, 1978 [Archives Cnam, dossier Laboratoire d'informatique, *op. cit.*].

en les quantifiant au regard des activités du Laboratoire de calcul : 1 enseignant à temps partiel (Kaiser, 10 %), 1 responsable du Laboratoire de calcul (Florin, 10 %), 1 chercheur à mi-temps (Natkin, 50 %, sur contrat), 1 élève IIE. Les ingénieurs et techniciens du service sont formés et intégrés aux projets de recherche, en particulier le séminaire « Systèmes informatiques » organisé au Cnam[47] : « *Leur participation à un tel séminaire leur permettrait d'ajouter à leur connaissance pratique des systèmes des connaissances plus fondamentales qui leur seront également utiles dans la perspective d'un renouvellement des matériels informatiques du Cnam* »[48]. Au cours de ces cinq années, Florin n'aura de cesse de demander promotions et reclassements pour les ingénieurs du laboratoire, alors que le service passe par une période de troubles, allant jusqu'au blocage du système de paie par le personnel en 1976 – une grève notamment expliquée par une gestion complexe d'un parc de machines, avec du travail de nuit, et un décalage entre les postes et les fonctions réelles.

La convergence du Laboratoire de calcul et de l'Équipe Systèmes est en effet rendue visible par la politique d'acquisition de matériel du service. Les ordinateurs, de 1975 à 1979, sont réduits à un IBM 360/30, un Modular-One et un terminal lourd branché sur l'IBM 370/65 du CIRCE[49] pour la transmission de calculs scientifiques par lot pour des besoins en physique, thermique, chimie, électronique, informatique, analyse numérique. Florin alerte l'administration chaque année sur le vieillissement du matériel. En 1978, le laboratoire fait le bilan de son matériel et plaide pour l'accroissement du matériel permettant les travaux interactifs, pour le développement de programmes en langage FORTRAN (travaux pratiques scientifiques de bas niveau), COBOL (travaux pratiques gestion), PASCAL (travaux pratiques en initiation aux systèmes avec extensions PASCAL). Cette année-là, l'IBM 360/30 a 10 ans et, selon Florin, « *tient tout le Cnam* ». Sur l'IBM du CIRCE (« *accès par réservation des chercheurs ayant des applications scientifiques* »), les congestions et conflits qui en résultent sont nombreux, les coûts sont élevés, les machines manquent de performance. Les crédits finissant par se débloquer, c'est du côté des mini-ordinateurs de DEC que se tourne le laboratoire. Nonobstant la politique nationale préférentielle, qui contraint depuis le Plan Calcul les établissements publics à s'équiper en équipements informatiques français mais n'offre en matière de mini-ordinateurs que des MINI 6 de

47 Par exemple les missions pour les ingénieurs systèmes Caria Lucas et Germain pour suivre le séminaire « Systèmes informatiques », en sus des missions déjà mentionnées. Plus tard, en 1979, le nouvel arrivé Daniel Lippman, en tant qu'ingénieur systèmes, est envoyé à l'école des Systèmes distribués et au séminaire Informatique répartie en juin 1979.

48 Lettre de Florin au Directeur du Cnam, 1975 [Archives Cnam, dossier Laboratoire d'informatique, *op. cit.*].

49 Centre inter-régional de calcul électronique à Orsay, dépendant du CNRS.

Bull, limités à l'informatique de gestion, Florin et son équipe finissent par réussir à acquérir des mini-ordinateurs DEC en 1979 et 1980 : les célèbres PDP 11/70 et VAX 780.

L'argumentaire pour ce choix s'appuie en partie sur la recherche sur les systèmes : il faut se mettre au niveau des universités américaines et européennes, trouver des ordinateurs qui soient non seulement puissants, mais intègrent aussi les « *concepts actuels* » en matière de système. L'argumentaire se fonde sur la nécessité d'apprendre les langages de programmation (postes conversationnels en accès interactif), l'étude des algorithmes et la réalisation de gros programmes (recherche opérationnelle et analyse numérique), et surtout la construction de systèmes logiciels. Les thèmes du groupe de recherche en systèmes informatiques sont largement convoqués dans l'argumentaire, bien que les autres recherches soient convoquées afin d'illustrer ses apports multi-fonctionnels. Le choix du VAX est justifié par sa puissance de calcul, son rapport qualité/prix, sa conception récente « *intégrant la plupart des concepts actuels en informatique* » (il est commercialisé depuis 1977), sa compatibilité au niveau du jeu d'instruction avec l'ordinateur de l'administration, son intérêt en gestion comme en calcul scientifique. Il est question d'y installer et d'expérimenter le système Unix, système d'exploitation américain d'avant-garde développé chez AT&T et enrichi par l'Université de Berkeley, *best-seller* international dans les milieux de la recherche en informatique (Kelty, 2008)[50].

Enfin, le Laboratoire de calcul abrite des recherches appliquées (ou plus exactement des projets d'implémentation pratiques de recherches effectuées ailleurs) qui seront parmi les plus novatrices. Se focaliser sur les machines permet de voir émerger de nouvelles recherches sur lesquelles les informaticiens du Cnam communiquent relativement peu, et ne publient pas du tout. Dès 1976, et à plusieurs reprises est demandé un terminal supplémentaire pour un accès au réseau de données Cyclades, développé à l'IRIA depuis 1971, afin de pouvoir tester ce nouveau réseau de communication par paquet (système Cigale), d'avoir accès à des systèmes en temps partagés et à leurs logiciels à but pédagogiques et scientifiques (compilateurs PASCAL et SIMULA sur IRIS 80, système CP 67 sur 360/67 Grenoble). L'ingénieur Caria Lucas est missionné pour suivre le séminaire « Conception des réseaux informatiques » à l'IRIA : « *Ce séminaire est du plus grand intérêt pour le laboratoire d'informatique [laboratoire de calcul] dans la perspective de l'insertion d'un des ordinateurs du laboratoire dans le réseau Cyclades* ». La demande est renouvelée en 1978 par Florin, arguant des finalités

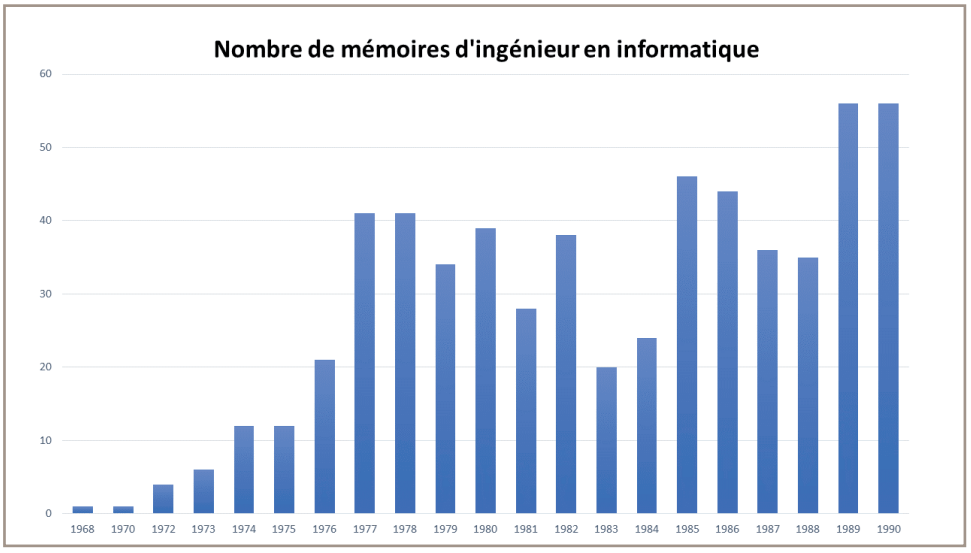
50 L'utilisation du système Unix repose en partie sur l'expérience acquise par l'équipe de Jean-Christophe Hanout, Humberto Lucas, Bernard Martin : elle a participé au projet pilote IRIA/SOL « Bases du génie logiciel » de l'Agence de l'Informatique (avec Michel Gien) et, à ce titre, a étudié le transport du système Unix sur le calculateur Mitra 15 de la société SEMS et sur le calculateur Mini 6 de la CII-HB.

pratiques que ce projet de recherche novateur : « *il me paraît très souhaitable pour le Cnam d'acquérir une compétence dans le domaine des réseaux d'ordinateurs, qui est en pleine extension, à l'occasion d'une expérience en collaboration avec l'IRIA* » (Lettre au Directeur du Cnam, 1975, *op. cit.*). Cyclades s'arrêtera en 1978 avant que le Cnam n'ait pu obtenir un accès. Cependant, les ingénieurs se forment aux réseaux, à la fois locaux, sur Ethernet, et à distance, sur commutation de paquets. La question des réseaux, locaux et à distance, occupera une grande partie des travaux pratiques du laboratoire de calcul. L'acquisition des machines Unix sera l'occasion d'interconnecter les bureaux des enseignants et du secrétariat, et d'expérimenter les connexions par câble Ethernet. Caria Lucas et Martin seront les protagonistes de la première connexion française aux réseaux internationaux de machines Unix sur protocole UUCP (Unix-to-Unix Copy), permettant d'échanger des messages électroniques et de participer à des groupes de discussions spécialisés en ingénierie informatique, et dont l'histoire est étroitement connectée à celle d'Internet (Kelty, 2008, Paloque-Berges, 2017). Ils réussiront à faire du laboratoire de calcul la colonne vertébrale française du réseau UUCP entre machines Unix, récupérant les données depuis le nœud central européen à Amsterdam pour les redistribuer aux organismes de recherche français membres du réseau jusqu'à passer le relais en 1986 à l'INRIA (ex-IRIA depuis 1979) – qui opèrera la transition vers le réseau TCP-IP en 1988, première liaison française à Internet (Paloque-Berges, 2017).

Des ingénieurs en formation

L'émergence de l'informatique comme objet de recherche au Cnam, son éclosion et son développement vers les thématiques des systèmes, puis des réseaux, est le fruit de négociations avec des cadres administratifs et pédagogiques qui se sont cristallisés dans la (courte) histoire de l'informatique au Cnam. Cette émergence ne se fait pas hors-sol : elle s'appuie sur l'institution, elle bénéficie et elle contourne en même temps ce qui est perçu parfois comme une opportunité, parfois comme des rigidités de l'institution. Le département Mathématiques-Informatique constitue un cadre ; le Laboratoire de calcul est le lieu matériel et scientifique où tout prend forme en termes de recherche. Ces espaces donnent une assise à ces développements, et une légitimité progressive, dont on a vu qu'elle était problématique au Cnam comme dans le contexte plus général de la discipline à cette époque. Parmi les facteurs qui confèrent une légitimité en interne et participent au développement de l'activité, se trouve la question de la formation des ingénieurs en informatique, dont on trouve trace tout au long du développement de l'informatique. Dans un établissement comme le Cnam, qui a bâti sa réputation en partie sur la formation des cadres et ingénieurs du monde industriel, cette question est structurante.

Construire l'unité d'enseignement « valeur C » sur la thématique des systèmes était donc stratégique, au regard



© Loïc Petitgirard

Figure 2 : Nombre de mémoires d'ingénieur en informatique

du département et de l'institution. L'enseignement « Systèmes » est consacré aux développements nouveaux dans le domaine, et constitue le cœur de cette valeur qui prépare les élèves du Cnam à leur mémoire d'ingénieur. Elle est devenue une motivation supplémentaire pour les protagonistes de notre histoire impliqués dans l'enseignement et attentifs à sa qualité. L'accompagnement des ingénieurs en formation, en revanche, est une activité moins visible du point de vue du monde académique.

Nous avons cité bon nombre de ces ingénieurs, et de leurs travaux et mémoires : seuls les plus impliqués ont été mentionnés, car ils ont agi comme assistants de recherche, et certains sont devenus des acteurs majeurs de la mise en place du laboratoire Cédric. Nous souhaitons, pour terminer, renverser la perspective, en faisant de ces mémoires d'ingénieur Cnam un point d'observation, un indicateur des évolutions des questions liées à l'informatique au Cnam. Nous avons tâché de distinguer les deux types d'ingénieurs en formation, ceux de l'IIE et ceux en formation continue au Cnam : le corpus de mémoire d'ingénieur construit aujourd'hui ne rassemble que les mémoires Cnam[51]. Mobiliser notre corpus permet de compléter l'image

51 Les mémoires IIE, sauf ponctuellement dans leurs liens aux activités de l'Équipe Systèmes telles que décrites dans la partie précédente, n'ont pas été pris en compte dans l'analyse suivante pour des raisons de manque d'informations et de ressources : les mémoires IIE ne sont pas catalogués, ni référencés de manière centrale par la bibliothèque du Cnam. Par ailleurs, l'IIE qui est implanté au Cnam à ses débuts, déménage à Évry en 1984, et prend la voie d'une autonomisation par rapport au Cnam : en 2006 l'IIE est devenu l'ENSIIE (École nationale supérieure d'informatique pour l'industrie et l'entreprise), établissement public administratif autonome.

donnée précédemment par un point de vue plus global sur l'institution, pointant les grandes évolutions thématiques, leur renouvellement et d'autre part les relations avec l'extérieur autour de ces projets d'ingénieurs, les collaborations mises en place autour de ces projets.

À l'échelle de l'établissement, on peut traiter en termes quantitatifs le corpus des mémoires d'élèves ingénieurs Cnam en informatique[52]. Le décollage en 1974-1975 est évident, avec un pic en 1977-1978 (40 ingénieurs / an), avant une stabilisation des travaux de cette nature au long des années 1980 (figure 2).

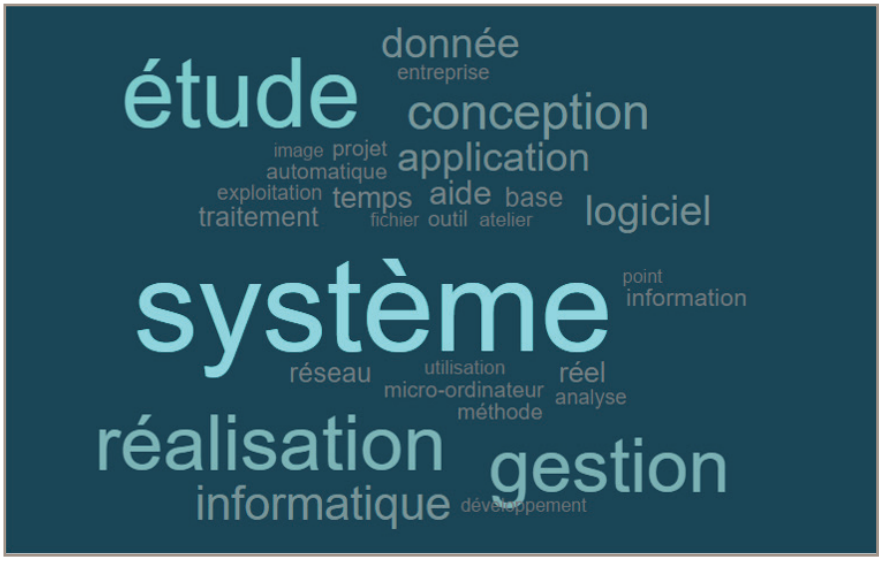
Ces chiffres masquent une grande diversité, pour ne pas dire disparité, des travaux. Ceci est lié en bonne partie aux modalités de suivi d'un cursus d'ingénieur au Cnam d'une part, et à la diversité des parcours des élèves avant leur entrée au Cnam, d'autre part. En effet, il faut distinguer trois types de relation à la formation, de la plus distante à la plus inclusive. La première concerne les élèves qui suivent les enseignements, mais réalisent leurs travaux dans l'entreprise dont ils sont salariés : leur mémoire de diplôme relève des problématiques techniques de ladite entreprise, le Cnam ne vient donner qu'une caution et certification à la formation du candidat. D'autres élèves n'ont pas l'opportunité de réaliser leurs travaux dans leur entreprise : ils peuvent s'appuyer sur le Cnam, et notamment le Laboratoire de calcul (puis les structures institutionnalisées) pour leur stage et travaux. Enfin, quelques plus rares élèves suivent le cursus en intégrant très fortement la dynamique scientifique de recherche en informatique au Cnam, au point d'en devenir des protagonistes (à l'image de Stéphane Natkin). La formation possède donc une géométrie très variable, ce qui a été un facteur de son succès, par ailleurs.

En suivant les élèves de la première catégorie, on peut donner un aperçu de la très grande surface occupée par l'ensemble des ingénieurs Cnam en informatique dans le tissu industriel. Ils se retrouvent aussi bien dans le secteur public que privé, dans des structures de toutes tailles : industrie automobile (Renault, Peugeot, en premier lieu), aéronautique, chimique, des télécommunications ; les grandes entreprises publiques comme EDF, SNCF, RATP ; des PME, des collectivités territoriales (notamment la Ville de Paris), les hôpitaux, l'armée ; les laboratoires de recherche (en instrumentation, tout particulièrement) et universités ; les banques et le secteur financier.

Le corpus bibliographique permet un traitement thématique et statistique approfondi, pour indiquer la nature des projets d'ingénieur en formation. Un premier travail par mot-clé dans le corpus en termes statistiques assez bruts[53], indique une tendance

52 Réalisés à Paris et non dans un des centres régionaux de l'établissement, pour rester dans une forme de proximité au laboratoire d'informatique.

53 Les nuages de mots ont été générés avec le logiciel « WordItOut » (en ligne : https://worditout.com/). La figure indique les termes signifiants les plus fréquents dans les titres et mots-clés des mémoires tirés du corpus (et limité aux 30 notions les plus fréquentes). Il est sous-entendu que cet ensemble des titres et mots-clés (utilisés



© Loïc Petitgirard

Figure 3 : Nuage des 30 mots-clés les plus fréquents dans le corpus

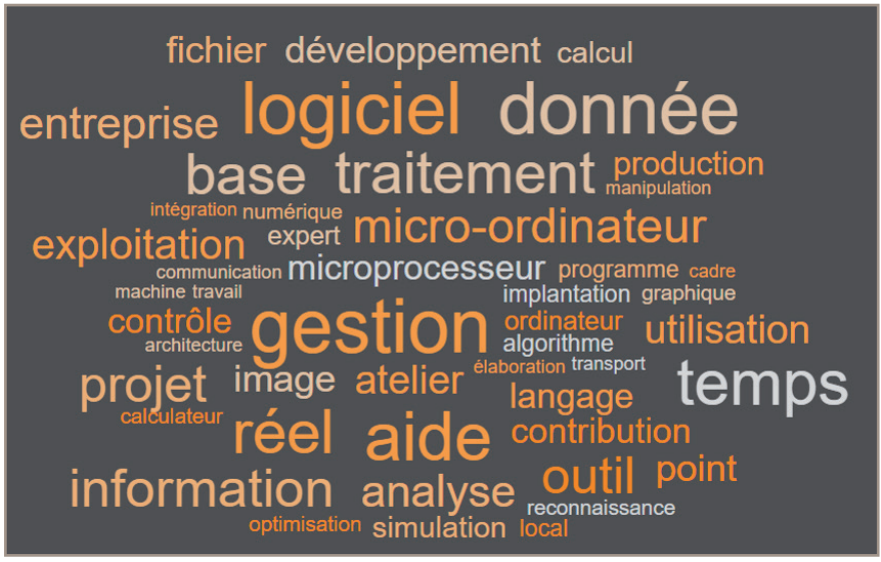
claire : la question des systèmes est largement prédominante dans les thématiques des mémoires (toujours sur la période 1968-1990). Les autres termes les plus fréquents font surtout écho au caractère applicatif des travaux d'ingénieur (figure 3).

Les quelques notions mises en avant ont tendance à occulter l'arrière-plan thématique : pour la seconde représentation en nuage, nous avons volontairement supprimé ces termes, pour révéler la diversité thématique qu'elle cache[54] (figure 4).

Ainsi, les termes suivants ressortent des grandes thématiques abordées dans la formation des ingénieurs : « gestion », « logiciel », « base de données », « réseau », « temps réel », ce qui est tout à fait congruent aux analyses qualitatives produites précédemment. L'exploration du corpus permet de confirmer certaines trajectoires thématiques, mais aussi de souligner des émergences thématiques (en rentrant dans un traitement par année, en découpant par périodes) et de pointer de nouvelles trajectoires à explorer. Prenons les deux exemples des notions de réseau et de système.

pour le référencement des mémoires dans la bibliothèque Cnam) constitue un fichier qui a été nettoyé et préparé pour cette opération : doublons, uniformisation des termes (français / anglais, singulier / pluriel, etc.). La taille du mot sur la figure est pondérée par la fréquence de l'occurrence : à titre indicatif « système » est utilisé plus de 190 fois, « étude » 137 fois, « gestion » 108 fois.

54 Ont été retirés : « système », « étude », « réalisation ». Cette fois-ci la figure compte les 40 termes les plus usités, avec moins de disparité entre les fréquences de ces termes.



© Loïc Petitgirard

Figure 4 : Nuage des 40 mots-clés les plus fréquents avec filtrage

Le thème du réseau

Le terme recouvre en fait plusieurs notions dès lors qu'on entre dans le détail des mémoires d'ingénieur, quatre principalement : « réseau Transpac », « réseau local » (ou Ethernet), « réseau de Petri », et « réseau ferré ». Les trois premiers renvoient directement aux expériences explicitées plus haut : liées aux connections au réseau de téléinformatique (Transpac), aux tests de réseau Ethernet au sein du Cnam, et au thème de la sûreté de fonctionnement de systèmes informatiques. La quatrième occurrence fait référence à la gestion informatique de réseau ferroviaire (SNCF et RATP). En entrant encore dans le détail il est possible de suivre une trajectoire d'ingénieur comme celle de Claude Jolliet : il est en formation d'ingénieur au Cnam sur la période 1979-1984, en étant par ailleurs analyste-programmeur chez EDF. Il finalise sa formation par un mémoire intitulé « Interconnexion de systèmes UNIX par un réseau local », reflétant les problématiques en éclosion dans le Laboratoire de calcul (et apporte ce type de compétence en tant qu'ingénieur chez EDF par la suite).

Le « système », pour finir

Le terme « système » recouvre lui aussi de multiples notions : « système de gestion » (de base de données), « système d'information » et « système documentaire », « système expert », « système d'acquisition et traitement du signal » et « système informatique » (au sens de l'architecture système), « système d'exploitation ». Ces deux dernières thématiques correspondent aux travaux de l'Équipe

Systèmes. Pour les autres elles renvoient aux diverses trajectoires de l'informatique au Cnam : informatique de gestion, informatique pour la documentation[55], instrumentation (Neumann & *al.*, 2016), etc.

Pour préciser l'analyse, il faut caractériser les orientations thématiques sur des périodes plus restreintes, autour de la notion de système. Ainsi les années 1970 et 1980 sont dominées, en termes quantitatifs, par l'informatique de gestion, avec de nombreux mémoires d'ingénieur dans le registre des systèmes de gestion et bases de données. Les systèmes documentaires ont une place significative dans les années 1970, avec un tarissement sur les années 1980. Le sujet des systèmes d'exploitation décolle en 1974 seulement (un seul mémoire), puis devient un sujet très significatif à partir de 1984 (cinq mémoires par an) : plus précisément encore, cinq mémoires traitent d'UNIX entre 1984 et 1986. Les systèmes experts n'apparaissent qu'en 1985-1987.

L'exploration du corpus, enfin, peut révéler des trajectoires complexes croisant plusieurs générations d'ingénieurs Cnam, sur la thématique des systèmes informatiques : ainsi le système Modula et le langage Modulog attirent l'attention sur la période 1984-1991 (douze mémoires). Cela s'inscrit dans la lignée de travaux initiés en 1976 avec le contrat SESORI, sur les réseaux de microprocesseurs : Évelyne Germain[56] fera le premier mémoire d'ingénieur en 1984 sur le langage Modula. Ces travaux seront relayés en particulier par trois autres ingénieurs Cnam : Louis Dewez (ingénieur 1973), Jean-Michel Douin (ingénieur 1985) et Philippe Lucas (ingénieur 1988), qui présentent une synthèse de leurs travaux au STACS (*Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science*) de 1988 (Dewez, Douin & Lucas, 1988). Dewez avait par ailleurs suivi la formation d'ingénieur avant l'arrivée de Kaiser, et sous l'autorité de Namian[57] : en 1991 il soutiendra sa thèse en informatique à l'université Paris 6, toujours sur ces mêmes sujets (Dewez, 1991).

Conclusion

Dans le projet fondateur du Cédric en 1988, on retrouve les recherches sur les systèmes, le temps réel, le parallélisme, les réseaux. C'est au cœur du Laboratoire de calcul, au sein d'une Équipe Systèmes dont les contours évoluent, que le noyau dur du laboratoire se concentre. C'est aussi d'où émergent des recherches pratiques et théoriques, à la fois issues des thématiques initiales, et aussi spé-

55 Cette thématique est liée aux travaux d'un institut du Cnam en pointe sur ces questions, l'INTD (Institut national des techniques documentaires), créé en 1950.

56 Technicienne au Laboratoire de calcul à ce moment-là et impliquée dans le contrat, elle évoluera sur un poste d'ingénieure au Laboratoire avant de partir dans le privé à la fin des années 1980.

57 Namian étant titulaire de la chaire de Machines mathématiques, Dewez a produit un mémoire d'ingénieur en mathématiques appliquées : « Analyse numérique des équations différentielles « non résolues » du premier ordre » (1973).

cialisées dans de nouveaux thèmes de recherche, du plus pratique (réseaux UUCP) au plus théorique (réseaux de Petri Stochastiques – qui sera l'une des thématiques fortes à l'aube de la fondation du Cédric ; Florin & Natkin, 1985 ; Barkaoui & *al.*, 1988). Cette double dimension assure donc la reconnaissance institutionnelle de l'équipe qui prend la forme d'un laboratoire de recherche. S'y seront adjointes les recherches en programmation théorique (séquentielle, sémantique, classique) reprises avec l'arrivée de Véronique Donzeau-Gouge au début des années 1980 ; ainsi que les études en recherche opérationnelle, très publiantes comme le montre la bibliographie de Bernard Lemaire, d'Alain Billionnet et Marie-Christine Costa ; et enfin celles en informatique de gestion, acteurs importants de l'informatique au Cnam au cours des années 1980 à travers les activités et le rayonnement de l'IIE.

Nous avons souligné l'importance de la construction d'un collectif dans cette histoire, un collectif qui ne se limite pas à un simple regroupement opportun de chercheurs et d'ingénieurs. Dans la période pionnière la dimension collective se construit à de multiples niveaux. Dans les travaux scientifiques de recherche, elle est évidente : la plupart des articles sont co-écrits, les logiciels et les machines sont partagés, et les membres de l'Équipe Systèmes adhèrent et partagent une même épistémologie expérimentaliste. Nous avons voulu également faire ressortir la dimension collective dans le choix des ordinateurs, essentiels pour le type de recherches produites au Cnam. Elle donne l'idée de la construction d'une expertise partagée, ramenant dans le collectif des leçons prises dans des séminaires extérieurs ou des associations et faisant circuler ces connaissances en interne.

Enfin, nous avons montré dans quelle mesure cette construction d'une dynamique de recherche est le prolongement d'un héritage au contact du monde industriel, en insistant sur deux points : la permanence d'une perspective « appliquée », finalisée, dans des recherches qui sont d'un niveau académique ; la question de la formation, mission essentielle du Cnam. Nous avons mis en exergue la question de la formation des ingénieurs car elle a un rôle prégnant ici, mais il faut aussi mentionner que la structuration de l'informatique au Cnam associe bien recherche et formation à tous les niveaux. À partir de 1990 le Cnam possède un laboratoire et une filière complète de formation à l'informatique, incluant une formation doctorale. La dynamique de recherche en informatique en bénéficie et l'amplifie, maintenant la formation des ingénieurs à l'interface entre milieu académique de recherche et monde économique : il est d'ailleurs significatif que les ingénieurs formés au Cnam en ce début de XXI[e] siècle soient très majoritairement des ingénieurs en informatique[58].

58 Revoir le premier graphique de l'article montrant les statistiques des mémoires d'ingénieurs Cnam, sur la longue durée.

Références bibliographiques

Corpus des publications des chercheurs en informatique du Cnam

Baconnet J.-P., Beyaert B., Bourlas P., Florin G., Girard B., Kaiser C., Lemaire B. & Natkin S. (1981). « Modèles de sûreté de fonctionnement basés sur les réseaux de Petri stochastiques et leur traitement numérique. » *Actes des journées SURF-ADI.*

Barkaoui K., Florin G., Fraize C., Lemaire B., Natkin S. (1988). « Reliability Analysis of Non Repairable Systems Using Stochastic Petri Nets », *18th Conference on Fault Tolerant in Computer Science* FTCS'88, X, France, pp. 9095. En ligne [URL : https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01125444].

CROCUS (J. Bellino, C. Bétourné, J. Briat, B. Canet, E. Cleemann, J.-C. Derniame, J. Ferrié, C. Kaiser, S. Krakowiak, J. Mossière & J.-P. Verjus) (n. d.). *CROCUS : une étape dans l'enseignement des systèmes d'exploitation*. En ligne [URL : http://cedric.cnam.fr/~claude/hist-crocus.pdf].

Bétourné C., Boulenger J., Ferrié J., Kaiser C., Krakowiak S., & Mossière J. (1970). « Process management and resource sharing in the multiaccess system in ESOPE ». *Communications of the ACM*, vol. 13/12, pp. 727–733.

Bétourné C., Ferrié J., Kaiser C., Krakowiak S. & Mossière J. (1971). « System Design and Implementation Using Parallel Processes ». *In* Freeman W. H. (ed.), *Information Processing, Proceedings of IFIP Congress* 71, TA-3, pp. 31-36.

Bétourné C., Ferrié J., Kaiser C., Krakowiak S. et Mossière J. (2004). « ESOPE : une étape de la recherche française en systèmes d'exploitation (1968-72) ». *7e colloque sur l'Histoire de l'Informatique et des Télécommunications*. Cesson-Rennes. Rennes : Irisa/Inria-Rennes, pp. 173-198. En ligne [URL : http://cedric.cnam.fr/~claude/esope.html].

CORNAFION (André F., Banino J.-S., Bétourné C., Ferrié J., Herman D., Kaiser C., Krakowiak S., Mazaré G., Mossière J., Rousset de Pina X, Seguin J. & Verjus J.-P.) (1981). *Les systèmes informatiques répartis : concepts et techniques.* Paris : Dunod.

Dewez L. (1991). « Modulog et la station modula : modularité, programmation en logique et spécifications exécutables. Application à un atelier de conception de logiciels modula 2 ». Thèse de l'Université de Paris 6.

Dewez L., Douin J.-M. & Lucas P. (1988). « Modulog and the Modula Workstation ». *In* STACS 88 (Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science), *Lecture notes in Computer science*, vol. 294. Berlin : Springer, pp. 397-398.

Ferrié J., Kaiser C., Lanciaux D. & Martin B. (1974). « An extensible structure for protected systems' design ». *IRIA Internat. Workshop on Protection in Operating Systems,* Rocquencourt, France, p. 49.

Ferrié J., Kaiser C., Lanciaux D. & Martin B. (1976). « An extensible structure for protected systems' design ». *The Computer Journal,* vol. 19/4, pp. 315-321.

Florin, G. (1975). « Conception et réalisation d'un coupleur programmé pour une liaison entre deux ordinateurs ». Thèse de doctorat 3e cycle de l'Université Paris 6.

Florin G. (1985). Thèse d'État de l'Université Paris VI.

Florin G. & Natkin S. (1985). « Les réseaux de Petri stochastiques », *TSI (Technique et Science Informatiques),* vol. 4, n° 1, pp. 143-160.

Gaudé C., Kaiser C., Lauget J., & Palassin S. (1980a). « Distributed processing as a key to reliable and evolving software for real time applications », *Proc. Of the IFIP Congress, Tokyo and Melbourne*, North Holland.

Gaudé C., Girard B., Kaiser D., Langet J. & Palassin S. (1980b) « Design and Appraisal of Operating Systems Matched in Selective Active Redundancy ». *IEEE Computer Society* (FTCS-10, Kyoto).

Kaiser C. (1971). « Exemple d'une structure adaptée au partage de temps ». Sainte Maxime : Direction des Recherches et Moyens d'Essais.

Kaiser C. (1973). « Conception et réalisation de systèmes à accès multiple : gestion du parallélisme ». Thèse de doctorat d'État *ès* sciences mathématiques, Université Pierre et Marie Curie, 1973.

Kaiser C. (1974a). « Operating systems 1974 ». *Lecture notes in computer science,* vol. 16 (Colloque international sur les aspects théoriques et pratiques des systèmes d'exploitation des ordinateurs, IRIA Rocquencourt), Heidelberg : Erol Gelenbe/Springer-Verlag.

Kaiser C. (1974b). *Structure et programmation des calculateurs* (Actes du séminaire organisé par l'IRIA Rocquencourt, Novembre 1973-Juin 1974). Le Chesnay : IRIA.

Kaiser C. (1978). *Quelques aspects des systèmes informatiques* Monographie d'informatique de l'AFCET.

Kaiser C. (2011). *Le centre de calcul Coelacanthe 1963-1970.* In Libro Veritas. En ligne [URL : http://www.inlibroveritas.net/oeuvres/29070/centre-de-calcul-coelacanthe-1963-1970].

Kaiser C., Derville D., Peirotes Y. & Tellier P. (1967). « Le système HALIOTIS ». *RIRO (Revue de l'AFCET)*, n° 6 pp. 3-25.

Kaiser C., & Krakowiak S. (1974). *Design Implementation of a Time-sharing System: A Critical Appraisal*. IRIA laboria Institut de Recherche, d'Informatique et d'Automatique.

Kaiser C. & Guesnon C. (1978). « Instrumentation and Measurement of a Dynamic Memory Allocator for a Real-Time System : ALADYN's Chronicle ». *MECO-78*, Athens.

Kaiser C., Langet J. & Poitvin J.-F. (société CERCI) (1978a). « Design of a continuously available distributed realtime system. ». *IEEE Computer Society* (FTCS-8, Toulouse), pp. 195-196.

Kaiser C., Langet J., Palassin S. & Poitvin J.-F. (société CERCI) (1978a). « Architecture d'un système multi-processeur à forte disponibilité utilisé dans la conduite d'un atelier de mécanique ». *Journées AFCET multiprocesseurs et multiordinateurs en temps réel.*

Kaiser C., Kronental M., Langet J., Natkin S. & Palassin S. (1978b). « Un système informatique réparti utilisé pour la conduite d'un atelier mécanique ». *Actes du Congrès AFCET,* Paris.

Kaiser C., Hanout J.-C., Caria Lucas H. & Martin B. (1983). « Expérience d'écriture et de transport de systèmes informatiques en Pascal ». *TSI (Technique et Science Informatiques),* vol. 2 n° 6, pp. 401-417.

Lanciaux D. & Kaiser C. (1976). « Un modèle pour le traitement des erreurs dans un système à domaines ». Rapport de recherche. Le Chesnay : IRIA, p. 17.

Lebeurier J.-F. & Mangeol, P. (1979). « Traitement numérique des processus stochastiques ». Thèse de docteur-ingénieur, Institut d'Informatique d'Entreprise (IIE).

Lemaire B. (1989). « Contribution à l'étude des systèmes avec attente : les méthodes de conservation : application à des problèmes de recherche opérationnelle et d'informatique ». Thèse en informatique de l'Université Paris 6.

Lonc P., Florin G. & Natkin S. (1979). « An evaluation CAD tool based on stochastic Petri nets ». *IFIP Working Conf. Rel. Comput. and Fault Tolerance in the 1980's,* Londres.

Martin B. (1979). *Protection dans les systèmes d'exploitation*. Monographie d'informatique de l'ACFET (Sûreté de fonctionnement des systèmes).

Natkin S. (1980). « Les Réseaux de pétri stochastiques et leur application de l'évaluation des systèmes informatiques ». Thèse de Docteur ingénieur du Cnam.

Natkin S. (1985). « Les Réseaux de pétri stochastiques : théorie et applications ». Thèse d'État soutenue à Paris VI, 1985.

Rozier S., Abrossimov V., Armand F., Boule I., Gien M., Guillemont M., Herrmann F., Kaiser C., Léonard P., Langlois S., Neuhauser W. (1988). « The Chorus Distributed Operating System ». *Computing Systems,* 1(4), pp. 305-379.

Bibliographie générale

Beltran A. & Griset P. (2007). *Histoire d'un pionnier de l'informatique : 40 ans de recherche à l'Inria*. Paris : EDP Sciences.

Grossetti M. (1995). *Science, industrie et territoire*. Toulouse : Presses universitaires du Mirail.

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

Hoffsaes C. (1988). « Histoire de l'A.F.C.E.T. et des sociétés l'ayant constituée. ». *Colloque sur l'histoire de l'informatique,* pp. 269-92.

Kelty C. (2008). *Two Bits: The Cultural Significance of Free Software*. Durham : Duke University Press Books.

Mounier-Kuhn P. (2006). « Du radar naval à l'informatique : François-Henri Raymond (1914--2000) », *In* Corcy M.-S., Douyère-Demeulenaere C. & Hilaire-Pérez L. (dir.), *Archives de l'invention : écrits, objets et images de l'activité inventive,* Toulouse : Presses Universitaires de Toulouse-Le Mirail, pp. 269-290.

Mounier-Kuhn P. (2010). *L'informatique en France*. Paris : Presses de l'Université Paris-Sorbonne, 2010.

Neumann C., Paloque-Berges C. & Petitgirard L. (2016). « "J'ai eu une carrière à l'envers" : entretien avec Claude Kaiser, titulaire de la chaire d'Informatique-Programmation du Conservatoire National des Arts et Métiers ». *TSI (Technique et Science Informatiques)* n° 35 (4-5), pp. 557-570.

Neumann C., Petitgirard L. & Paloque-Berges C. (2016). « Le Cnam, un lieu d'accueil, de débat et d'institutionnalisation pour les sciences et techniques de l'informatique ». *TSI*

(Technique et Science Informatiques) n° 35, vol. 4-5, pp. 584-600.

Paloque-Berges C. (2017). « Mapping a French Internet Experience: A Decade of Unix Networks Cooperation (1983-1993) ». *In* Goggin G. & McLelland M., *Routledge Companion to Global Internet Histories.* New-York : Routledge, pp. 153-170.

Petitgirard L. (2015). « Le Cnam et la restructuration de la métrologie française dans les années 1960 ». *Cahiers d'histoire du Cnam,* vol. 3, 2015, pp. 39-74.

Ramunni G. (1995). *Les sciences pour l'ingénieur : histoire du rendez-vous des sciences et de la société.* Paris : CNRS.

Triclot M. (2013). « Les colloques scientifiques à Cerisy : un laboratoire pour de nouveaux paradigmes (1970-1984) ». *Histoire@Politique,* n° 20, mai-août. En ligne [URL : https://www.histoire-politique.fr/index.php?numero=20&rub=dossier&item=189].