



**Les professeurs Zuse (à droite) et Dubois**

## KONRAD ZUSE, UN HOMME DE GENIE SI ATTACHANT

*Daniel M. Dubois*

### MES SOUVENIRS DE KONRAD ZUSE

En 1981, j'avais invité Konrad Zuse pour faire le discours inaugural du 1er Panorama de l'Informatique à Liège et recevoir la Médaille d'Or de l'Université de Liège. C'est ainsi que je l'ai rencontré pour la première fois. Mon père avait traduit son discours, originalement en allemand, et Konrad Zuse a pu le présenter en français. Ce texte a été publié dans les actes d'un Congrès International sur l'Histoire de l'Informatique.

Deux souvenirs sont restés attachés à cette période. Le premier, un repas autour d'un plateau de fruits de mer avec des homards qu'il avait tant appréciés, ce qu'il n'a jamais oublié comme vous le constatarez plus loin. Le second lors d'une visite chez mes parents, je lui avais offert une de mes peintures à l'huile en guise de carte de visite. Il m'avait alors fait la surprise de m'envoyer une de ses toiles dès son retour à Hünfeld. Ce grand artiste n'ayant jamais arrêté de peindre à l'huile et de dessiner, sa maison est devenue un vrai musée.

Lors de nos rencontres dans sa maison de Hünfeld, Konrad Zuse m'avait fait part que ses origines pourraient être françaises sous le nom de "Suze". C'était un homme entier, ses sympathies avec autrui étaient très sélectives, et j'ai eu beaucoup de chance d'être parmi ses intimes. Sa femme Gisela aimait recevoir avec chaleur et sa fille Hannelore assurait son secrétariat. Konrad Zuse aimait s'exprimer en français pour faire des compliments et se mettre à faire des imitations. Il aimait rappeler qu'il avait fait partie d'une troupe théâtrale.

Nous allions souvent dans un restaurant pas très éloigné, le "St. Hubertus", où il avait sa table dressée avec des sous-assiettes en argent, rien que pour lui et ses hôtes, et décoré en permanence d'une grande photo de lui avec M. Nixdorff. Il avait beaucoup d'admiration pour M. Nixdorff, un pionnier de l'informatique qui était aussi un grand manager.

Début de l'année 1994, il m'avait demandé de traduire en anglais deux de ses ouvrages en allemand sur l'Espace Calculant et les Réseaux d'Automates, car, comme il me l'avait confié, j'étais la seule personne au monde à s'y être intéressé. Pendant ce temps, il travaillait sur la réalisation d'une maquette d'une tour pour éolienne qui s'érige de manière mécanique à partir d'une alimentation en pièces qui s'emboîtent à la base. Cette tour expérimentale de trois mètres de haut, pour laquelle il a déposé un brevet, décorait son atelier de peinture. Il était fier de la faire monter et descendre à son gré. Il avait le projet d'en faire un grand prototype de 100 mètres de haut.

Mon dernier voyage à Hünfeld fut pour la célébration de ses 85 ans, le 22 juin 1995. Toute la ville et des hautes personnalités l'ont mis à l'honneur en inaugurant une rue à son nom dans le nouveau quartier, pas loin de l'Ecole qui porte son nom. Konrad Zuse était adulé en Allemagne et plusieurs rues et institutions portaient déjà son nom, de son vivant. Discours, musique et réception se sont succédés tout au long de la journée. J'ai eu le privilège d'être invité à la table réservée à K. Zuse et toute sa famille.

Le dernier souvenir de Konrad Zuse date de l'invitation que je lui avait faite pour recevoir le Prix et le Diplôme de l'Association Internationale de Cybernétique à Namur. Ce 22 août, Konrad Zuse a fait une conférence de 45 minutes sur Faust et deux conférences de plus d'une heure sur son Espace Calculant et son Plan Calcul, le 1er langage algorithmique. Tous les scientifiques présents étaient d'accord pour dire que son langage de programmation, qu'il avait élaboré depuis les années 1940, a des caractéristiques que l'on ne retrouve pas encore aujourd'hui dans les autres langages. Après ses trois conférences, ainsi qu'une longue conférence de presse où il s'est fait photographe dans différentes

"poses", Konrad Zuse était en pleine forme. Ce soir-là, il demanda tout simplement un restaurant pour déguster de nouveau du homard, tant il avait gardé un souvenir profond du homard de 1981 à Liège. Après maints coups de téléphone, enfin nous arrivâmes à en trouver un à Namur qui avait du homard à sa carte. Konrad Zuse était heureux, car était prêt à nous faire faire le déplacement jusqu'à Liège. Il prit donc un homard en entrée et un second comme plat.

Konrad Zuse était invité le 16 novembre 1995 pour recevoir son 4ème Prix en Belgique, la Chaire G. Sarton, à Gand. Il m'avait téléphoné une semaine auparavant pour me demander de faire la Leçon inaugurale à sa place pour des raisons de santé. Je lui ai téléphoné quelques jours plus tard pour lui dire que tout s'était bien passé. Je lui ai envoyé la Médaille et le Diplôme Sarton juste avant son entrée à l'hôpital. Nous devions nous rencontrer à Hünfeld en janvier 1996, pour discuter de mes traductions avant de les faire publier et de l'évolution de nos recherches sur les mathématiques discrètes (K. Zuse avait encore publié un article sur ce sujet en 1994).

Malheureusement, son fils aîné m'a téléphoné le 19 décembre 1995 pour me faire part du décès de son père, la veille. Ce fut un véritable choc. Un homme comme lui, un génie, ne devrait jamais mourir. En pleine capacité de ses moyens, lucide jusqu'au bout, il faisait encore des projets sur son lit d'hôpital. La seule consolation que l'on peut avoir, c'est de savoir que son oeuvre lui survivra et qu'il continuera à vivre dans les travaux de beaucoup d'entre nous. Et, dans mes pensées, je garderai le souvenir d'un génie et d'un homme si attachant.

## **KONRAD ZUSE, L'INVENTEUR DU PREMIER ORDINATEUR**

Cet article a pour objectif de montrer la richesse et l'originalité de toutes les idées du Prof. K. ZUSE. Certaines de ces idées sont réalisées, mais la plupart sont encore des questions ouvertes aujourd'hui. Elles nous étonnent toujours maintenant alors que nous sommes

pourtant dans un monde technologique dont l'évolution ne devrait plus nous étonner en rien. Il est important d'éclairer certains aspects historiques liés à un pionnier de l'informatique.

D'abord, des informations inexactes ont été publiées au sujet de K. Zuse. Par exemple, dans "Le livre mondial 93 des inventions" dirigé par Valérie-Anne Giscard D'Estaing, il est écrit: "En 1944, Zuse travaillait sur le Z4, toujours à relais, mais toutes ses machines furent détruites lors des bombardements de Berlin." Or, K. Zuse a raconté dans sa biographie: "Si je voulais sauver le Z 4, il fallait quitter Berlin pour un région moins exposée. Au terme d'une odyssée pleine de périls, quelques amis et moi-même atteignirent la Haute-Bavière; un village alpestre nous accueillit, où nous allions rester un bon bout de temps, la machine et nous".

Ensuite, l'histoire de l'informatique nous montre que des idées originales inacceptées au moment de leur découvertes sont redécouvertes ou acceptées bien plus tard, mais mises en oeuvre par d'autres! Voir à ce propos, l'article "Le calculateur mécanique de Charles Babbage" de Doron Swade (in Pour la SCIENCE, avril 1993). K. Zuse, quant à lui, a réussi de son vivant à réaliser le rêve de sa vie: construire un ordinateur, depuis les concepts de base jusqu'à la commercialisation, seul et contre tous. Aujourd'hui, les scientifiques et les industriels sont financés, soutenus et encouragés par les programmes des Communautés Européennes pour atteindre des objectifs de cette ampleur.

Enfin, il arrive bien souvent que des idées originales présentées par des scientifiques ou industriels peu connus sont parfois considérées sans avenir réel pour l'avancement de la connaissance. Si un de ces "outsider", comme K. Zuse, réalise une oeuvre originale qui finalement est reconnue par la communauté scientifique, alors il est des plus intéressant d'analyser l'ensemble des idées qu'il a émises, même si celles-ci ne sont pas encore réalisées. Elles ont une forte probabilité de constituer un jour de nouvelles bases pour la science. En effet, les hommes, de tout temps, ont eu des théories bien arrêtées sur les questions fondamentales et, dès lors, ont des difficultés à accepter de

nouvelles idées originales qui les ébranleraient si elles étaient prises en compte. Comme le dit K. Zuse, "Les physiciens doivent adhérer strictement aux phénomènes et théories prouvées par des expériences". Or certains physiciens essayent parfois de valider leurs théories en leur ajoutant des prothèses ad hoc pour s'accorder avec les données expérimentales, au lieu de repenser le problème à la base. K. Zuse a eu l'audace d'esprit de reformuler fondamentalement des théories considérées comme établies, comme les extraits donnés dans cet article le démontrent bien.

C'est rendre justice à Konrad Zuse que de retracer sa carrière de chercheur acharné d'autant plus méritoire qu'elle avait débuté avec des moyens absolument artisanaux.

### **La jeunesse de Konrad Zuse**

Né à Berlin le 22 juin 1910, Konrad Zuse fit ses études à l'Athénée de Hoyerswerda en Silésie, puis à l'Ecole supérieure technique de Berlin-Charlottenburg, où il obtint le diplôme d'ingénieur en construction en 1935. Dès l'âge de 17 ans, se manifesta en lui un irrésistible besoin de recherches et d'innovations.

Vers 1930, Konrad Zuse allait trouver son dada de prédilection: dès sa première année de cours à l'Ecole de Charlottenburg, frappé par le caractère fastidieux des innombrables calculs imposés aux étudiants et par le temps précieux qu'ils perdaient, l'espoir lui vint, qu'il pouvait, en inventant des machines calculatrices, devenir le "magicien" qui soulagerait considérablement le travail, non seulement des étudiants, mais encore des professeurs, des chercheurs, de tout qui, en fin de compte, était victime du fléau de la "calculation". Cette volonté fut encore renforcée par le fait que, lorsqu'il quitta l'Ecole, il fut engagé dans une véritable "machine à chiffres": le bureau d'études d'une usine d'aviation.

Il serait trop long, et même fastidieux pour les non-spécialistes en ce domaine, de décrire le cheminement des idées et des travaux qui menèrent M. Zuse du but qu'il s'était assigné jusqu'aux créations qui lui vaudront de conquérir sa place parmi les grands pionniers de l'informatique.

### **Les idées de K. Zuse**

Pour l'essentiel, disons que Konrad Zuse comprit très vite que, pour réussir un grand bond en avant, il fallait résolument sortir des sentiers battus: le système décimal utilisé à l'époque se traduisait dans les machines à calculer par un lourd ensemble d'engrenages et de roues à dix dents. M. Zuse opta pour un système binaire qui lui permettait d'utiliser de petits leviers (relais), qui, selon leur position ouverte ou fermée, signifieraient "Oui" ou "Non", "Un" ou "Zéro. Le système binaire de calcul et la technique des relais devaient constituer la clé qui lui ouvrira la porte d'un nouveau monde. Il décida que, parallèlement à la création de matériel, il fallait élaborer, ce qu'il appelait un "plan de calcul", qui deviendrait plus tard "programme séquentiel"; il voyait le matériel composé d'un pupitre d'entrée de données, d'un magasin "mémoire" de données, d'un bloc de "calcul" fonctionnant à la demande de l'utilisateur en se servant de la mémoire et du programme par ailleurs enregistré. Il fallait trouver les moyens d'augmenter de façon sensationnelle la rapidité et la capacité de manoeuvre, tout en "miniaturisant" au maximum le matériel afin de limiter, par exemple, le volume du "magasin-mémoire" à un demi-mètre cube. Insistons sur le fait que toutes ces études, tous ces calculs, M. Zuse les fit chez lui en dehors de son travail professionnel, donc le soir et pendant les week-ends. Les prototypes de machines qu'il imagina et construisit dans un petit atelier installé dans la maison de ses parents, le seront en grande partie au moyen de matériel et d'accessoires de réemploi; et, malgré pareil handicap, M. Zuse parvint à rendre ces machines "réellement" opérationnelles et dans des délais très courts. La première d'entr'elles était au point dès 1938: il s'agissait d'une machine avec mémoire, travaillant suivant le principe

binaire, mais encore entièrement mécanique.

Le besoin d'aide et de finances commençait toutefois à se faire sentir. M. Zuse avait déjà et allait continuer à bénéficier du concours et des conseils d'amis ou de personnalités s'intéressant à ses recherches. En 1937, en quête de subsides, il s'adressa, sur recommandation, à un important fabricant de machines à calculer, qui lui tint à peu près ce langage: "Cher Monsieur, où allez-vous donc vous fourvoyer; les machines que nous sortons actuellement représentent déjà le summum de ce qu'on peut en attendre. Il ne reste que bien peu de chose à innover dans ce domaine". M. Zuse se fit convaincant et obtint l'appui financier du fabricant, ce qui l'aida à construire son deuxième modèle déjà équipé, lui, de relais électromagnétiques, et d'étudier son troisième, le Z3.

Le début de la guerre interrompit l'activité de M. Zuse, qui se retrouva pour six mois au service militaire. Il profita des "pauses" que lui laissait ce nouveau métier pour réfléchir, jouer des parties d'échecs sur un jeu portatif qui ne le quittait pas et en tirer des enseignements utiles pour ses projets. Plus tard, il eut l'idée de recourir à l'amitié d'un aveugle féru de mathématiques, et la connaissance de l'écriture Braille l'aida dans ses essais de codification: cet aveugle, dit-il, fut mon premier programmeur.

Rappelé à la demande de l'usine d'aviation qui l'occupait, M. Zuse obtint de ne plus y travailler qu'à mi-temps afin de pouvoir se consacrer à ses recherches, auxquelles la société commençait d'ailleurs à s'intéresser. Il soumit alors son prototype Z2 à l'Institut de Recherches pour l'Aviation et attendit, non sans inquiétude, la visite des délégués de cet Institut: avec une machine composée partiellement de matériaux de réemploi, pouvait-on savoir avec certitude comment la démonstration allait se dérouler, et si la machine n'allait pas en profiter pour jouer un mauvais tour à son auteur? Miracle, tout se passa au mieux, et l'Institut décida de financer en partie l'invention du prototype Z3.



C'est à ce Z3 que l'on peut, pour la première fois, donner le nom d'ordinateur, car il s'agit d'une machine absolument fonctionnelle marchant selon un programme. Rapidité: environ 3 secondes pour une multiplication, une division ou une racine carrée.

Le Z3 était né en 1941, trois ans environ avant la machine Mark I conçue à l'Université américaine de Harvard sous les directives du Professeur Howard Aiken; quatre ans avant celle conçue chez Bell sous la direction de Stibitz (et qui, selon M. Zuse, avait le plus d'analogies avec son modèle Z3) et les découvertes de l'Eniac sous direction d'Eckart et Mauchly.

Certes, la capacité de mémoire du Z3 était relativement modeste en comparaison de ce qui se fabrique actuellement, mais elle suffisait amplement pour prouver l'efficacité, donc la valeur de l'invention, et tester la fiabilité de son programme. Répétons que M. Zuse n'avait pu, en cette période troublée, se procurer maints accessoires "up-to-date" qu'il aurait souhaités et avait dû se contenter de ce qu'il pouvait trouver ici et là, et le plus souvent, de réemploi.

Il importe de préciser que le Z3 a trouvé son utilité pratique dès son invention; il a "servi" pour l'élaboration de diverses applications dans plusieurs bureaux, notamment à l'Institut de Recherches aéronautiques. De même l'ordinateur Z4 sera employé, après la guerre, durant plusieurs années, principalement par l'E.T.H. à Zurich, ce qui permettra à M. Zuse de dire: "En 1950, le Z4 était le seul computer travaillant en Europe". Le Z4 sera une machine de la même lignée que le Z3, mais plus perfectionnée et de plus grande capacité. Le Z3 fut malheureusement détruit par les bombes en 1944; mais il a été fidèlement reconstitué depuis, et l'on peut aller le voir au Musée des Inventions à Munich.

### **L'oeuvre de K. Zuse à travers la guerre**

L'élan qu'avait pris dès avant 1940 Konrad Zuse faillit être brisé par la guerre. En 1941, M. Zuse avait monté une petite usine à

Berlin et mis au point son modèle Z3. Mais à partir de 1942, alors qu'il commençait à réaliser son appareil Z4, les bombardements aériens, de plus en plus fréquents et violents, allaient rendre le travail d'autant plus difficile que la main-d'oeuvre qualifiée et les approvisionnements se faisaient plus rares. Trois fois, il fallut déménager l'usine parce que les bombes avaient gravement endommagé ses installations. En 1944, la situation devint tragique: les prototypes Z1, Z2, Z3 et une partie des plans et études de M. Zuse disparurent dans les décombres. Il fallait une volonté de fer et des nerfs à toute épreuve pour continuer à progresser dans de pareilles conditions; et pourtant, fin 1944, le modèle Z4 était pratiquement au point.

M. Zuse comprit alors que l'essentiel devenait: survivre à la guerre et sauver son invention. Pour cela, il fallait quitter Berlin. Au prix de mille difficultés, il parvint à obtenir l'autorisation d'embarquer l'essentiel de son matériel dans un wagon de chemin de fer qui atteignit intact Göttingen, après un voyage périlleux de quinze jours. De là, ayant déniché un camion et des bons d'essence, M. Zuse et deux de ses proches collaborateurs (en même temps que l'équipe de Wernher von Braun qui allait également en Bavière) s'enfoncèrent vers la Haute-Bavière, roulant la nuit, s'abritant le jour dans de petits villages, traversant les villes entre deux bombardements. En deux nouvelles semaines, ils étaient en montagne et se faisaient héberger dans le village de Hinterstein en Allgäu. Le prototype Z4 était presque sauvé.

Presque, car le bruit se répandit dans le patelin que la précieuse machine qui y fut entreposée était une nouvelle arme secrète susceptible de faire sauter toute la région (à cette époque le Z4 s'appelait le V4, l'abréviation de *Versuchmodell*, modèle expérimental en allemand, ce qui permit de sauver son ordinateur). Il fallut convaincre les villageois, et ensuite les autorités d'occupation qui allaient bientôt arriver, qu'il ne s'agissait là que d'une inoffensive machine à calculer.

La guerre était terminée, mais ce n'est que très lentement que l'activité industrielle et commerciale reprit, et par priorité tout ce qui était vital pour l'hébergement et le ravitaillement de la population accrue du long cortège des réfugiés venant de l'Est. Konrad Zuse et sa

famille allaient vivre quatre années dans le village alpestre qui les avait recueillis. M. Zuse y consacra une bonne part de son temps à la réflexion et à l'élaboration de projets qui resteraient momentanément dans le domaine de la théorie. Petit à petit néanmoins, il entreprit de perfectionner encore sa machine et de la tester en élaborant des programmes pour de petites entreprises de la région. Certes, c'était "utiliser un canon pour tirer sur des moineaux". Mais M. Zuse savait qu'en matière de computer, un stade primordial est de détecter toutes les erreurs possibles et de parvenir à les corriger, ce qu'il fit d'une manière quasi artisanale: il était non seulement impensable de monter une nouvelle usine à cette époque, mais il fut bien difficile de trouver les outils et le matériel nécessaires pour alimenter le petit atelier que M. Zuse avait improvisé à Hinterstein. Heureusement, comme il le disait plaisamment, "les soldats américains abandonnaient un peu partout leurs boîtes à conserves vides, et, avec cette ferblanterie, les Allemands pourraient recommencer à construire des computers".

Depuis 1941, l'Allemagne vivait dans l'ignorance des progrès réalisés aux Etats-Unis dans un domaine où, grâce à Konrad Zuse, son pays avait pris une légère avance. Celle-ci fut perdue notamment parce que les Américains purent perfectionner sans désespérer leurs machines et donner une grande publicité aux résultats obtenus, alors que, de 1944 jusqu'en 1949, M. Zuse se trouva dans l'impossibilité de commercialiser son invention, et même de la faire connaître dans des publications.

### **K. Zuse à la conquête du marché européen**

Progressivement, M. Zuse avait toutefois renoué des contacts en Allemagne et à l'étranger, et d'aucuns apprirent ainsi que fonctionnait en Allgau une machine analogue à celles qui commençaient à se faire connaître aux Etats-Unis, et qui allaient bientôt partir à la conquête du marché européen. M. Zuse était impatient de trouver des appuis qui lui permettraient d'industrialiser la machine à laquelle il avait consacré tant d'efforts aussi bien pour la créer et la mettre au point que pour la sauver de l'enfer de Berlin. Il reçut la visite de spécialistes allemands,

français, anglais, américains. Après avoir bénéficié d'une première aide suite à un contrat à durée limitée signé avec IBM, il fut contacté par Remington Rand et par l'Ecole Technique Supérieure Confédérale de Zurich qui lui ouvrira le marché suisse. Dans les locaux de cette école se trouve encore exposé, après tant de pérégrinations et de vicissitudes, l'appareil Z4, si cher au coeur de Konrad Zuse. C'est grâce aux contrats signés avec cette Ecole et avec Remington que M. Zuse put enfin monter en 1949 à Neukirchen en Hesse une nouvelle usine, où de précieux collaborateurs lui apportèrent un concours efficace par leur compétence technique et commerciale.

S'il n'a pu réaliser toutes ses idées, ni réussi à les faire toutes consacrer par des brevets, Konrad Zuse n'aura pas connu le découragement de voir ses idées, ses inventions reprises par d'autres sans pouvoir travailler lui-même à leur perfectionnement.

Selon ses propres termes, la plus belle récompense pour un chercheur n'est-elle pas de voir son invention réalisée et son fonctionnement répondre à ce qu'il en attendait. Or, un an après la constitution de la Zuse K.G. (1949), l'usine était construite et équipée et la fabrication des premières machines allait débiter.

### **K. Zuse, chef d'entreprise**

Une nouvelle existence commençait pour Konrad Zuse: d'inventeur, il devenait chef d'entreprise, avec tout ce que cela comporte de joies et de tracas; et la tâche qui l'attendait était ardue: n'oublions pas qu'en 1950 l'utilisation des ordinateurs en Europe en était à ses tout premiers débuts. Durant les années 50, l'efficacité de ces machines se heurtait, chez beaucoup, au scepticisme, voire à l'hostilité de ceux qui voyaient en elles une complication du travail plutôt qu'une simplification, une concurrence plutôt qu'une aide. Pionnier de son invention, M. Zuse devenait pionnier de la commercialisation de l'ordinateur.

Les années 50 furent exaltantes pour M. Zuse et son équipe; est-il exagéré de dire que la Sté Zuse K.G. était peut-être devenue à la

fin de la décennie le principal concurrent d'I.B.M. en Allemagne ?

En cette période héroïque qui avait vu se réaliser de nouveaux modèles Z11, Z22, Z23, le système de software n'existait pas. C'était la plupart du temps les mathématiciens et les ingénieurs des clients qui élaboraient et mettaient au point, avec l'aide des ingénieurs de la Zuse K.G., les programmes convenant aux besoins des clients. On y travaillait des journées entières — et parfois la nuit — pendant des semaines ou des mois. Il naissait ainsi une véritable complicité de travail entre l'équipe Zuse et les usagers d'ordinateurs, à tel point que, en 1959, se créa une "Amicale des clients de la Zuse K.G." qui se réunit en congrès à l'automne de chaque année.

Malheureusement, il est dit que toute médaille a son revers: ironie du sort, c'est le succès croissant de l'industrie du Computer, associé à de foudroyants progrès dans le domaine de l'électronique et de l'informatique qui allait, vers 1960, mettre finâncièremment en péril la Sté Zuse en tant qu'entreprise moyenne indépendante.

Depuis un certain temps déjà, les ateliers et bureaux étaient devenus trop exigus et il avait fallu louer divers locaux éparpillés dans la ville pour y héberger certains départements de l'entreprise. La construction d'une usine beaucoup plus vaste et encore plus moderne allait se révéler devenir une nécessité. Les portes s'ouvraient de plus en plus largement à la société, à la satisfaction de ses dirigeants, par exemple: l'automatisation de la production dans des aciéries ou des laminoirs, la réalisation de vastes applications dans des firmes de transports aériens. Par ailleurs, une nouvelle tendance se faisait jour de louer les ordinateurs plutôt que de les acheter; cela entraînait une forte augmentation de l'en-cours de fabrication de l'usine, cause d'une immobilisation de fonds de plus en plus insupportable. De plus, les clients, de moyenne importance perdaient l'habitude d'écrire eux-mêmes leurs programmes. Le temps du software était né. Le constructeur devait maintenant imaginer des programmes standards susceptibles d'être utilisés dans les délais les plus courts, moyennant les adaptations nécessaires aux cas particuliers soumis par les clients. M. Zuse dut dès lors engager une série de programmeurs, charge qui s'ajoutait aux

dépenses considérables déjà entraînées par les modernisations et reconversions consécutives à l'avènement du transistor (dont il allait équiper les modèles Z24, Z25 et Z31) et aux énormes progrès de l'électronique. La concurrence se faisait de plus en plus féroce, et la clientèle, de plus en plus exigeante. Même si tout n'avait pas été rentable dans divers secteurs de fabrication, l'équipe de la Zuse K.G. pouvait être satisfaite des brillantes performances réalisées depuis 1949. Mais M. Zuse se trouvait en 1964 devant une alternative difficile: ou bien conserver son indépendance et risquer l'asphyxie financière, ou bien amarrer son entreprise à un important groupe industriel pour lui assurer sa continuité. M. Zuse comprit que la première solution était du "romantisme", donc irréaliste. Il chercha la bouée de sauvetage, et la trouva d'abord chez Brown Boveri & C°, ensuite chez Siemens AG, laquelle contrôlera entièrement la Zuse K.G. à partir de 1969. Bien sûr, M. Zuse cesserait d'être maître à bord, mais il aurait l'énorme satisfaction d'avoir sauvé son enfant, et de continuer à prodiguer ses conseils techniques jusqu'à l'heure de la retraite.

Ainsi qu'il le dit dans son livre "Le computer, l'oeuvre de ma vie" Konrad Zuse aura eu le rare bonheur de faire de son hobby de jeunesse (inventer une machine à calculer) l'objet de toute sa carrière professionnelle, jusqu'à l'invention et la commercialisation de "son" computer, et la satisfaction de s'être vu décerner depuis 1957 une série de hautes distinctions honorifiques, justes récompenses de près d'un demi-siècle de recherches et de travail acharnés.

## **LES IDEES, TOUJOURS D'ACTUALITE, DE KONRAD ZUSE**

### **LES AUTOMATES CELLULAIRES IRREGULIERS DE K. ZUSE**

L'inventeur du premier ordinateur, Dr-Ing. Konrad ZUSE, avait introduit au début des années 1940 le concept de "Rechneden Raum", qu'on peut traduire par "Univers calculant". La forme la plus simple de cet univers se présente comme une grille orthogonale d'automates cellulaires. K. Zuse pensait à cet univers calculant comme modèle de

processus physiques (Zuse, 1970). Originellement conçus par K. Zuse et S. Ulam, les automates cellulaires furent mis en pratique par J. von Neumann pour imiter le comportement de structures complexes étendues spatialement (cfr Toffoli & Margolus, 1987).

Actuellement, les recherches sur les automates cellulaires sont de plus en plus nombreuses. Par exemple, dans l'article "L'hydrodynamique modélisée sur réseau" par Boon, Frisch et D'Humières (in *La Recherche*, avril 1993), il est intéressant de lire:

"nos automates construits dans un espace discret ne seront invariants que par certaines rotations de cet espace (...). Feynman, intrigué par ce problème, proposa de résoudre en déstructurant le réseau, c'est-à-dire en reliant les noeuds au hasard. Cette solution, d'une mise en oeuvre délicate, n'a pu encore être explorée; les chercheurs se sont plutôt orientés vers une autre solution, d'inspiration cristallographique (...). Dans l'état actuel de nos connaissances, les gaz sur réseaux, et plus généralement les automates cellulaires, n'ont pas la prétention de supplanter les méthodes classiques; ils ont plutôt vocation à se placer parallèlement à ces dernières pour certaines classes de problèmes".

Ce problème de l'anisotropie de l'espace dans les automates cellulaires est donc toujours d'actualité. Et pourtant, K. Zuse (1973), concepteur des automates cellulaires avec Ulam dans les années 1940, proposa de créer des treillis irréguliers pour éviter les problèmes d'anisotropie de l'espace.

Feynman, Prix Nobel de Physique, fit une proposition semblable.

Les idées de K. Zuse sur la possibilité de comprendre l'espace-temps de l'univers à partir d'une extension de la théorie des automates cellulaires sont toujours d'une actualité brûlante. Les extraits suivants de K. Zuse (1973), que j'ai essayés d'adapter en français, sont assez longs, car il s'est avéré que ses idées originales forment une totalité qui, en la fragmentant, conduit à une perte d'information sémantique assez surprenante.

"(...) Ce dont nous avons besoin ici est un type spécial d'automate, à savoir l'automate cellulaire. Le concept de base de l'automate

cellulaire est l'arrangement de simples petits automates dans la forme d'un treillis, les noeuds voisins étant interconnectés. Nous pouvons commencer avec l'hypothèse que chacun des points de croisement du treillis contient un petit computer et qu'un échange d'information s'établit entre ces computers.

(...)

De tels automates ont déjà été construits. Comme on peut l'imaginer, ils peuvent très bien être utilisés pour calculer des équations différentielles aux dérivées partielles. Pensons seulement à la computation du temps qu'il fait, qui est réalisé comme une computation plane sur un réseau de points de croisement d'un treillis. Vous réaliserez que je pourrais calculer de telles équations différentielles aux dérivées partielles très rapidement, si je pouvais mettre un computer dans chaque point de croisement. De plus, on n'est pas limité à utiliser le système orthogonal. D'autres systèmes ont déjà été développés, par exemple des arrangements de triangles ou, pareillement, dans une configuration en nid d'abeilles. Le théoricien des automates a diverses possibilités de concevoir des automates cellulaires, et leur comportement a déjà été exploré jusqu'à un certain point.

Le problème décisif dont je voudrais vous entretenir est le suivant: Jusqu'ici le rôle de l'expert du computer était de fournir un bon outil, aussi bon et aussi précis que possible, capable de calculer des équations différentielles aux dérivées partielles. Il a essayé d'augmenter la précision aussi bien que possible pour exclure des sources d'erreurs. Néanmoins, il ne sera peut-être jamais possible de réaliser exactement, même avec un automate extrêmement bien construit, le modèle des équations de Maxwell ou n'importe quelle autre équation de la physique. Un comportement fondamentalement différent existe entre le modèle computant et le modèle mathématique.

Le mathématicien et le physicien théorique supposent que la nature correspond à leur modèle d'équations différentielles. C'est une hypothèse qui jusqu'à présent n'a pu être ni réfutée ni prouvée. Une première exigence de la computation numérique est d'assimiler aussi bien que possible le modèle à la nature dans le sens d'un continuum.

Mais on peut considérer le point de vue inverse: Je me libère de cette exigence de plus grande exactitude et ne tente pas de développer un outil pour solutionner des équations différentielles, mais à la place, je



sonde le comportement d'automates cellulaires. La question se pose alors, avec quelle inexactitude puis-je construire mon computer pour le faire fonctionner suffisamment bien pour permettre l'observation d'effets qui, au moins de loin, peuvent être comparés au comportement de la nature? (...)

Si on ajoute la question: 'Comment inexactement peut-on opérer pour que tous les effets observables deviennent manifestes?', on arrive alors au comportement d'une chaîne de relais dans laquelle de simples impulsions sont propagées. On peut établir des règles et reconnaître des analogies avec les lois physiques de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie. Cette investigation peut être étendue aux automates plans ou même aux systèmes à trois dimensions ou plus. En cela, nous ne sommes pas limités à un arrangement orthogonal, mais nous pouvons choisir, dans un espace à trois dimensions, un arrangement qui correspond au problème de l'empilement le plus dense de billes. (...)

On peut se poser la question supplémentaire, s'il est possible de concevoir une circuiterie cellulaire dans laquelle des impulsions peuvent se déplacer à travers le système dans des directions aléatoires. A cet égard, le simple computer au point de croisement du treillis de l'automate cellulaire nécessite seulement la composition de quelques éléments commutants satisfaisants aux opérations logiques de base. Nous pouvons alors parler de patterns qui consistent en des combinaisons de valeurs oui/non. Un tel pattern se propage sur la base des lois du circuit. Il existe un état normal du système, qui se présente quand tous les membres sont mis à zéro.

Tout autre pattern représente une perturbation de cet état normal. De telles perturbations et leurs patterns respectifs sont d'un intérêt particulier quand ils ne se dissipent pas ni se dissolvent, mais sont conservés dans leur configuration même pendant qu'ils se propagent comme un tout. De tels patterns se propagent alors à travers l'espace, semblables à des particules de la physique, et, par conséquent, je voudrais introduire le terme de "particules digitales" pour les désigner.

On peut alors jouer avec de tels effets de multiples façons. Je dis jouer intentionnellement, pour mettre en évidence, qu'aussi longtemps que nous n'avons pas une théorie affinée, c'est un jeu qui permet d'explorer beaucoup de possibilités. Si de telles particules digitales s'appro-

chent l'une de l'autre, que se passe-t-il alors? Théoriquement il pourrait arriver que les particules entrent en collision, mais qu'effectivement elles passent à travers l'une de l'autre sans interaction entre elles. Mais il peut très bien arriver qu'elles interagissent, ce qui constituerait évidemment un processus d'information. Le résultat serait la création d'une nouvelle particule qui s'en irait dans une autre direction.

On montrerait cet effet à un mathématicien, par exemple sur l'écran d'un terminal connecté à un ordinateur, sans lui dire qu'il regarde des processus digitaux, que pourrait-il faire? Il pourrait seulement faire des mesures et des observations! Il arriverait à la conclusion: les particules interagissent avec la probabilité d'un-demi, et elles ne le font pas avec la probabilité d'un-demi. Nous avons un résultat semblable en physique, où le fait, que deux particules interagissent ou non, est déterminé par des lois de probabilité.

En conséquence, nous opérons avec des modèles intéressants pour lesquels, néanmoins, les particules sont encore loin de représenter des modèles physiques réels. De toute façon, ils stimulent des réflexions et nous rendent curieux de savoir ce qui se passerait en allant plus loin. Cela vaudrait la peine de réaliser des investigations plus intensives et d'observer le développement futur de la théorie des automates cellulaires. Mais cela demande un investissement considérable, puisque d'assez grands computers doivent être utilisés. La recherche dans cette optique est déjà en cours aux USA. L'idée, mentionnée ci-dessus, de chercher des analogies avec la physique théorique, y a également été exprimée.

Une des réserves principales à l'encontre de l'automate cellulaire a été émise sur son anisotropie. Par conséquent, le concept d'une structure en treillis de l'espace a été désapprouvé par les physiciens pour des considérations fondamentales, et, en fait, nos modèles ont comme propriété, d'avoir des directions privilégiées. Aussi longtemps, cependant, qu'il n'existe aucune information que de telles situations se présentent réellement dans l'espace. La structure itérative d'un treillis est encore plus en contradiction avec la théorie de la courbure de l'espace comme définie par la théorie générale de la relativité.

Pour réaliser un rapprochement des points de vue, on avait à convertir des treillis construits régulièrement en treillis organisés irrégulière-

ment. Ceci nous ramène à la théorie d'automates variables et grandissants. Le concept de base est ici, que les irrégularités de la structure du treillis soient une fonction des patterns en mouvement, qui représentent les particules digitales. A ce moment-là, non seulement certaines valeurs sont affectées aux seuls points de croisement du treillis d'après le concept de l'automate cellulaire, qui sont en relation mutuelle et se séquent l'un l'autre, mais également les irrégularités du treillis lui-même sont des fonctions de ces valeurs du réseau courant s'interconnectant. On peut imaginer assez aisément que de cette façon, l'interdépendance de la masse, de l'énergie et de la courbure de l'espace peut logiquement résulter du comportement de la structure du treillis.

Même s'il n'est pas encore possible d'établir de telles théories avec une exactitude suffisante, on peut déjà développer quelques idées générales.

La théorie de l'information utilise le terme (dans le sens d'une quantité) 'information', un terme qui, fréquemment utilisé erronément, devrait cependant être clairement défini avant d'être appliqué.

Nous connaissons la signification de ce terme pour un canal de communication. Dans ce cas, une certaine information est affectée au message. La théorie de l'information définit l'unité de mesure, le bit.

Est-ce que ce concept d'information existe aussi dans la nature? Si on applique le modèle de l'automate cellulaire, la question peut être solutionnée comparativement aisément. Si on approche le problème différemment, en persévérant à utiliser le modèle analogique des équations différentielles, on est confronté à une situation difficile. Pour l'automate cellulaire, cependant, ce qui suit est vrai:

D'abord, on peut affecter une quantité d'information à des structures à variabilité limitée. Prenez une carte perforée comme exemple. Si on peut perforer des trous dans des positions prédéfinies, alors une carte, avec 80 colonnes de 12 positions, a une capacité de 960 bit. Indépendamment, si la capacité de transmission de l'information est utilisée, il peut être établi que l'objet carte perforée a une variabilité dans sa structure qui correspond à 960 bit. Ceci signifie que la structure peut varier d'une quantité de  $2^{960}$  possibilités.

Nous pouvons également appliquer le concept de la variabilité de structure à l'automate cellulaire. Pour commencer, on peut prendre

une unique cellule et la considérer comme un automate qui, dans le concept de l'automate cellulaire, peut présenter un nombre discret d'états. Le logarithme à base 2 du nombre d'états serait la quantité d'information de cet unique point de croisement. Je voudrais alors avoir dans le modèle de l'automate cellulaire une information limitée, mesurée à l'intérieur d'un certain domaine. Evidemment, je n'ai pas encore examiné la situation comme un tout, puisqu'on rencontre des limitations finies, semblables à celles qui jouent un rôle important dans des modèles physiques. Naturellement, la théorie des automates cellulaires peut prendre aussi de l'importance pour ces problèmes.

En principe, un automate cellulaire est supposé avoir une extension infinie. Mais les automates réalisés en pratique ont naturellement un nombre limité d'éléments. On pourrait donner aux automates cellulaires avec des treillis réguliers la forme d'un tore, et de cette façon obtenir des solutions finies. Si des treillis irréguliers sont utilisés, différentes solutions sont possibles par analogie avec les espaces courbés et finis de la physique.

L'exploration des idées suivantes semble spécialement attrayante:

Ouelle est l'information contenue dans une particule dans l'espace? Peut-on parler d'une conservation d'information exactement au même titre qu'une conservation d'énergie ou une conservation de quantité de mouvement ou d'une charge, etc? Ma foi, cette question n'a pas de réponse évidente. Si nous commençons par le concept d'une équation différentielle, avec laquelle le physicien actuel opère, l'information en chaque point de l'espace devrait alors être infinie. Jusqu'à présent, je crois qu'aucune critique suffisante n'a été faite comme toujours pour explorer les conséquences qui résultent de ce concept.

Les mathématiques classiques permettent d'insérer un nombre aléatoire de valeurs intermédiaires entre deux valeurs. Ceci est le concept de l'analyse mathématique, sur lequel les équations différentielles sont basées. De telles conditions ne se rencontrent pas dans la computation digitale, à cause du nombre techniquement limité de chiffres des ordinateurs. Un automate particulier, par conséquent, a seulement un nombre limité de valeurs, i.e. des valeurs discrètes, comme il n'est pas possible d'insérer entre deux valeurs un nombre aléatoire d'autres, d'intersecter respectivement dans le champ des quantités aléatoires. Il y a certaines valeurs maximum et des valeurs de seuil. Ce sont les

limites que le scientifique actif dans la pratique doit voir, qu'il essaye d'éliminer autant que possible, mais qui considérées d'un point de vue différent, sont d'un intérêt particulier. Comment des automates se comportent-ils, si on choisit de limiter les valeurs intentionnellement dans un champ étroit borné supérieurement et inférieurement? Les effets produits nous amènent peut-être plus loin. Qu'arrive-t-il si j'affecte une équation d'onde à un tel système? Peut-être que des valeurs quantifiées et des événements se produisent qui ont une ressemblance à ceux de la physique. (...)

On pourrait appliquer le concept d'une conservation d'information également aux particules digitales. La question suivante se pose alors: La quantité d'information de deux particules qui interagissent est-elle conservée? (...)

Dans le sens de la théorie des automates, une telle particule peut être généralement vue comme étant dans un état fluide. (...)

On introduit quelque pattern dans le champ. La commutation et la structure du pattern sont maintenant telles que ce pattern, après quelques pas temporels, se reproduit lui-même. Des investigations de ce type ont été déjà faites. Si on n'empêche pas une telle particule de se propager elle-même, elle prend alors un nombre d'états, qui reviennent périodiquement ensemble, toutefois avec un changement de localisation où ces états prédominent.

Il est alors possible de concevoir des classes de particules qui représentent un certain type et qui sont discernables les unes des autres à partir de leur impulsion et vecteur de vitesse qui leurs sont respectivement affectés. Le nombre de patterns possibles donne alors une mesure de l'information de la particule. De cette façon, nous arrivons réellement à des possibilités d'appliquer le terme 'information' à de tels processus.

Dans un *automate variable*, avec un treillis irrégulier, les particules digitales représentent des patterns de treillis vaguants qui, avec leurs distorsions à l'intérieur du treillis, se propagent eux-mêmes. De cette façon, l'anisotropie de l'espace peut être expliquée statistiquement. Des termes comme la distance temporelle et spatiale et leur quotient, la vitesse, deviennent des quantités statistiques. En transférant de telles idées à l'univers, on doit en effet considérer que l'espace est extraordinairement bien structuré, d'une manière telle que la dispersion

statistique de la vitesse de la lumière, par exemple, est bien loin d'être détectable par les meilleurs instruments disponibles.

Maintenant, je voudrais ajouter quelque chose au problème de la détermination (du temps). En général, on part de l'hypothèse que l'ambivalence de la direction du temps est vraie pour les lois de la physique. Logiquement, en mécanique classique, les lois de Newton sont vraies dans les deux directions. Dans une théorie basée sur les équations différentielles, il n'y a aucune raison de donner de prime abord une préférence à une direction du temps. Par conséquent, cela allait de soi pour Laplace de faire l'hypothèse de l'ambivalence de la direction du temps dans sa célèbre thèse, puisque les lois mathématiques formant son fondement ne donnaient aucune raison de préférer une direction du temps.

Ce n'est que depuis l'introduction du terme 'entropie', qu'aujourd'hui les physiciens croient être capable de donner une préférence à la direction positive du temps en dépit de l'ambivalence de la direction du temps habituellement tenue pour établie pour les lois physiques.

Du point de vue de la théorie des automates le problème se présente différemment: Un automate est habituellement une structure déterminée, i.e. il fonctionne suivant des règles strictes. Un nombre d'états se succèdent les uns après les autres, pour lequel l'état suivant est toujours une conséquence de l'état précédent. Ceci n'est pas le cas en marche arrière. L'état présent ne permet pas de conclure sur l'état antérieur, puisqu'ici une multiformité peut-être présente, c'est-à-dire, que plusieurs états peuvent résulter dans un état identique. Par conséquent, il est intéressant de percevoir que le comportement des automates est entièrement différent de celui des modèles de la physique qui ont été présentés depuis si longtemps.

En contraste avec un mathématicien du temps de Laplace, le théoricien de l'automate, par conviction conséquente du comportement des automates, ne voudrait même pas considérer l'hypothèse d'une ambivalence de la direction du temps. Au contraire, il devrait probablement chercher avec un effort considérable des solutions compliquées pour remplir une exigence pour l'ambivalence de la direction du temps.

Une autre considération que je voudrais mentionner ici: Si on soumet, par exemple, quelque chose au quantum d'action, qui d'une manière ou d'une autre correspond à une action de commutation, alors la

conservation d'énergie apparaîtrait comme une action de commutation par unité de temps, et la conservation d'énergie deviendrait une conservation d'action de commutation. Avec un automate cellulaire, ceci signifierait qu'il changerait couramment ses états, débutant par un certain état originaire, dans lequel le degré de complexité est en train d'être conservé.

A mon avis, ce n'est pas suffisant d'identifier l'énergie et l'information.

Les automates discrets ont seulement un nombre discret d'états, et par conséquence seulement des valeurs discrètes de leurs paramètres. Ceci signifie, que toutes ses quantités étant manipulées doivent être digitalisées sous quelque forme. La possibilité la plus logique est de transformer toute l'information en bits. En concordance avec la circuiterie, les opérations de base du calcul des propositions jouent un rôle important. Ça permet encore de voir beaucoup d'effets sous de nouveaux angles. Avec les équations différentielles, il est bien connu qu'une interaction réciproque d'événements différents, par exemple des ondes, peut seulement être produite par l'introduction de superpositions non-linéaires. Avec une digitalisation logique à l'extrême, on aboutit à des additions logiques de deux bits, i.e. à la disjonction propositionnelle. De cette manière, les interactions ont aussi été réduites à un cas élémentaire.

En général, le comportement d'une circuiterie est strictement déterminé. Cependant, par l'introduction de décisions oui/non (alternatives ambivalentes) on peut arriver à des cas élémentaires d'événements déterminés par hasard. Le théoricien imaginaire de l'automate a une grande variété de possibilités à sa disposition pour concevoir des modèles d'automates cellulaires. Le champ de variations des différents modèles est imprévisible.

(...)

C'est ma ferme conviction que la théorie des automates apportera dans le futur d'importantes contributions à l'exploration des lois de l'univers. Il y a une nécessité pour cela, que les informaticiens soient conscients de leur propre capacité, et qu'ils soient audacieux en présentant leurs propres convictions avec l'énergie nécessaire.

Les considérations que je vous ai présentées ne reflètent cependant pas une théorie complètement établie et mûre. Mon concept s'est graduel-

lement développé durant les 20 à 30 années passées pendant que je fus prioritairement engagé dans le développement de l'ordinateur et des problèmes directement connexes. Leurs sources furent des considérations au sujet de commutations algébriques en connexion avec le développement de circuiteries logiques complexes. Je dois avouer que ma connaissance de la physique est celle d'un ingénieur plutôt que celle d'un physicien professionnel."

## **L'EMANCIPATION DU TRAITEMENT DE DONNEES, SELON K. ZUSE**

### **Le Plan-Calcul de K. Zuse, en 1945, le premier langage orienté objet**

"Le Plan-Calcul fut une tentative de K. Zuse dans les années 1940 pour inventer un système de notations et de concepts d'écriture de ce qui est appelé aujourd'hui un programme. (...)

Le Plan-Calcul, une remarquable première sur la voie des très hauts langages de programmation, mérite une place dans l'histoire de l'informatique. (...) A cet égard, le Plan-Calcul surpasse les potentialités des langages de programmation d'aujourd'hui, y compris l'ALGOL 68. (...) Il ne faut pas oublier que non seulement K. Zuse inventa le Plan-Calcul, mais qu'il l'utilisa pour formuler certains programmes non-triviaux de type nonnumérique pour démontrer les potentialités de computation. Les programmes sont de toute manière non-triviaux pour l'année 1945 et plus ambitieux que les premières étapes du travail que von Neumann fit avec sa Gedanken Maschine (cf. Knuth, 1970). (...) Le Plan-Calcul se révèle tout à fait être un langage de programmation largement développé avec des objets structurés qui sont construits à partir d'une unique primitive d'objets — les deux valeurs booléennes" (Bauer & Wössner, 1972).

Dans ce premier extrait, K. Zuse (1979) explique quelques concepts relatifs à son "Plan-Calcul".



"(...) Je suggère donc de suivre la voie suivante:

La conception de données est introduite comme un élément fondamental dans la Théorie du Traitement de Données. L'élément de base est le bit. Nous faisons ainsi sans déduire le bit dans le sens de la Théorie de l'Information comme décision entre deux alternatives. Toutes les autres structures de données sont composées de bits. Ainsi nous obtenons un énoncé élémentaire:

"Le traitement de données commence avec le bit".

Les données sont des objets de computation et toutes les données ont des structures déterminées par des définitions. Elles doivent être construites de telle façon qu'elles puissent être clairement conçues comme un tout ou dans leurs composants.

Comme le bit représente la structure de données élémentaire, les opérations avec des bits sont aussi élémentaires.

Ces idées m'ont induit à développer le "Plan-Calcul". C'est le seul langage algorithmique, conçu en conséquence, correspondant à ces points de vue. Ici, je ne peux qu'illustrer ceci par quelques exemples.

Toutes les données ont une structure. Ceci permet plusieurs "valeurs". Dans des programmes elles peuvent être spécifiées par des noms. Le plus souvent l'ensemble des valeurs d'une structure est finie. Mais, en principe, nous pouvons définir des structures avec des nombres infinis de valeurs. La conception "potentiellement infinie" introduite en mathématique est aussi bonne dans ce cas.

En mathématique moderne la théorie des ensembles est généralement appliquée avec grand succès comme un instrument efficace. Un ensemble peut être défini de différentes manières, e.g. par des prédicats attachés à tous les éléments d'un ensemble. La définition directe est la liste des éléments. Toutes ces descriptions d'ensembles sont des données. Pour traiter une liste, nous avons besoin de la définition de la structure des données de l'élément individuel et celle d'une liste. Un fait caractéristique du traitement de données est: Les éléments d'une liste sont alignés dans un ordre fixé. On peut définir un ensemble par une telle liste. La conception mathématique d'ensemble, cependant, n'inclut pas un ordre des éléments, i.e. originalement, le même ensemble peut être décrit par différentes listes. Toutes ces listes ont la même structure mais chaque arrangement des éléments représente une autre donnée. On peut maintenant définir une opération (programme).

"Comparaison de deux listes" avec le résultat "les listes consistent en les mêmes éléments". Les listes sont équivalentes aux ensembles. De cette manière, nous pouvons représenter les opérations de la théorie des ensembles par des opérations du traitement de données. Nous pouvons établir un calcul de liste auto-contenu (self-contained) correspondant au calcul ensembliste. J'ai déjà donné quelques lignes de conduite dans le Plan-Calcul. Bien qu'un ensemble n'ait normalement aucun ordre préférentiel des éléments les mathématiciens utilisent souvent le terme "ensemble ordonné". Nous pouvons considérer, par exemple, que l'ensemble des nombres naturels se trouve entre la conception "ensemble" et "groupe". La définition d'opérations avec certaines caractéristiques sur des ensembles a conduit à la Théorie des Groupes qui a prouvé être très efficace dans leurs diverses variantes. Une liste définit économiquement un ensemble et la relation d'ordre des éléments. Des listes infinies peuvent être définies récursivement comme des ensembles infinis ou par un programme générateur. En principe, il y a beaucoup de possibilités arbitraires pour représenter des nombres par des données. Une forme de base est le système binaire. Toutes les opérations avec des nombres peuvent être définies par des programmes. Le passage d'ensembles finis à infinis (à la fois pour les nombres naturels et rationnels) peut être faite encore par des définitions récursives ou programmes. Le mathématicien peut objecter que les axiomes pour des opérations numériques ne sont valables, en principe, que pour des ensembles infinis. La construction pratique des unités arithmétiques est toujours un compromis. De ce point de vue, les systèmes axiomatiques sont souvent une illusion. Ils peuvent seulement être exécutés mentalement par des passages à des données de structure infinie. Concernant les calculs arithmétiques comme traitement de données, nous avons besoin de définitions récursives pour les opérations aussi. De cette façon, le calcul du traitement de données peut être plus précis et instructif que des méthodes mathématiques traditionnelles. (...)"

### **La sélection naturelle avant le Big Bang: l'électron survit**

Dans un article récent "Le procès du Big Bang" (in Sciences et

Avenir, avril 1993), on peut lire, au sujet de la théorie du Big Bang: "(...) Afin de sauver la théorie, Alan Guth, du Massachusetts Institute of Technology, proposa en 1980 une hypothèse supplémentaire, l'hypothèse de l'inflation. Dans ce scénario entièrement ad hoc, l'explosion primordiale aurait été précédée d'une courte période d'expansion-inflation extrêmement rapide qui aurait créé la portion d'Univers observable à partir d'un volume si minuscule que tous ses points étaient déjà à la même température."

Ce second extrait de K. Zuse (1979) est assez étonnant: il imagine ce qu'il y avait avant le Big Bang et ce, un an avant Alan Guth!

"(...) Aujourd'hui les computers sont des instruments efficaces pour les physiciens; néanmoins, aucun des physiciens n'a à l'esprit que l'univers peut être un gigantesque système de traitement de données. Les hypothèses pour une telle vue sont encore à créer. Mes propres développements dans le domaine de l'"univers computant" vont dans cette direction. J'ai eu l'occasion de simuler quelques modèles de cette sorte représentant des automates cellulaires, sur l'ordinateur de l'Université de Braunschweig avec le Professeur Vollmar. Mais les résultats ne sont pas du tout sensationnels, ils présentent un caractère davantage ludique. Néanmoins, nous espérons qu'un jour de nouvelles découvertes résulteront de ces expériences.

Je prend la liberté d'esquisser quelques perspectives osées de cette voie. Dans la perspective d'un univers digitalisé, la théorie quantique n'est qu'une étape pour maîtriser les concepts d'espaces continus, d'équations différentielles, etc. Les physiciens doivent adhérer strictement aux phénomènes et théories prouvées par des expériences. Considérant le Big Bang, ils supposent qu'en ce moment-là nos conceptions physiques modernes avec ses quantités physiques, ses particules élémentaires, etc existaient déjà. Notre connaissance d'aujourd'hui ne permet pas une autre conclusion. Mais plus tard peut-être on considérera ce point de vue aussi naïf que l'idée des scientifiques concernant le développement des espèces avant Darwin. Peut-être qu'il sera nécessaire de supposer une théorie similaire à l'évolution pour le développement de l'univers, comme en biologie. Peut-être qu'un

traitement de données compliqué dans un espace limité précéda le Big Bang dans le sens d'une énorme expansion commençant par un point distinct pour le développement. La nature fit un grand nombre d'expériences. L'électron survit. Tout cela n'est qu'imagination, mais j'espère que ces nouveaux aspects comme celui de traitement de données conduira un jour à des théories fondamentalement nouvelles."

### **Des systèmes auto-reproducteurs en automatisation**

K. Zuse était très intéressé par les méthodes de la gestion de la production, ayant lui-même créé une entreprise, la Zuse K.G., pour la fabrication de ses ordinateurs. Il a donné deux conférences très techniques sur les réseaux de Petri (ZUSE K., Petri-Nets from the Engineer's Viewpoint, Lecture I, 14 p., Lecture II, 25 p.): il y apporte un éclairage nouveau. Rappelons que sa machine, la S 2, développée en 1942, était dédiée au contrôle de processus (K. Zuse, 1976). De plus, K. Zuse (1967) proposa des concepts révolutionnaires, toujours aujourd'hui d'ailleurs, pour une automatisation totale des systèmes de production industrielle. Ce troisième extrait de K. Zuse (1979) porte sur cette automatisation par des systèmes auto-reproducteurs.

"Le traitement de données est déjà appliqué avec succès en automatisation. Mais nous n'en sommes qu'au tout début. Il y a encore un long chemin à parcourir pour être capable de contrôler le développement d'un organisme complet débutant avec quelque sorte de cellule-germe par un programme. La nature est supérieure quant à l'information stockée dans la chaîne d'ADN. Finalement, tout cela est aussi du traitement de données.

Dans l'évolution des organismes biologiques, l'auto-réplication joue un rôle important. Dans cette direction, nos techniques et science sont seulement à leur début, aussi. Nos méthodes de production diffèrent de celle de la nature. Néanmoins, je suis convaincu qu'une étape révolutionnaire est devant nous. Les systèmes autoreproducteurs furent investigués par moi ainsi que les aspects de construction. J'avais en tête de construire un atelier qui soit capable de répliquer ses compo-

sants. Ce concept peut être conçu plus ou moins strictement. Un objectif immédiatement réalisable serait des systèmes d'auto-maintenance, sans le besoin d'une autoreproduction totale. Il est seulement nécessaire, semblablement à une économie auto-suffisante, qu'un ensemble de machine-outils soit construit de telle façon qu'il consiste en le même type de parties qui appartiennent aux objets produits par eux. Dans ce sens, le système est aussi homogène que possible. L'homme peut être inclu dans un tel système. Théoriquement, le problème d'auto-reproduction fut analysé par plusieurs mathématiciens, avec J.v. Neumann en tête. Des automates cellulaires servent de modèles. Les cellules individuelles peuvent muter (transfer) en différents états qui correspondent à des éléments de commutation élémentaires. On suppose qu'au début, toutes les cellules sont dans un état fondamental. Au moyen d'impulsions de l'extérieur, les cellules individuelles peuvent subir des mutations selon un programme, de telle façon qu'elles forment un système de traitement de données, i.e. un computer. Ce computer est capable de répliation dans son champ environnant d'automates cellulaires. De plus, il est possible de former des patterns d'un diagramme calculant qui peut contrôler. par pas la construction de diagrammes plus compliqués, i.e. des computers plus efficaces.

De nouveau, ces idées sont considérées actuellement plus comme des jeux intéressants. La raison est que d'extrêmement énormes automates cellulaires devraient être nécessaires pour une application pratique. Ensemble, avec le progrès en miniaturisation, de telles méthodes peuvent devenir importantes un jour. Quelques faits amènent à de telles conclusions. Des patterns pour la fabrication des circuits de commutation miniaturisés sont déjà calculés par des computers et dessinés par des plotters automatiques. L'auto-répliation de computers est déjà une réalité jusqu'à un certain point. L'idée de l'évolution de patterns élémentaires vers des systèmes de plus en plus complexes est un des aspects les plus fascinants du traitement de données futur. Ici les mathématiciens peuvent élaborer avec leur intelligence, à partir de systèmes abstraits, des systèmes applicables en pratique."

## **La cellule-germe, une alternative aux faiblesses des systèmes axiomatiques**

Le théorème d'incomplétude de Gödel ébranla le fondement des systèmes axiomatiques. Comme alternative, K. Zuse proposa une approche inverse qu'il appela la cellule-germe. Ce quatrième extrait de K. Zuse (1979) esquisse ses idées de cellule-germe.

"Le principe d'une cellule-germe est d'une certaine manière l'inverse de l'idée des systèmes axiomatiques pour lequel nous trouvons la différence suivante:

Un système axiomatique consiste en un ensemble d'énoncés élémentaires qui sont considérés tenir sans preuve. Par un calcul, d'autres énoncés ou les énoncés d'un domaine de la science peuvent être dérivés, e.g. la géométrie euclidienne peut être réduite aux axiomes.

Le processus de ces dérivations n'est pas intégré dans le système axiomatique mais est la compétence du mathématicien qui travaille avec. De ce point de vue, un système axiomatique a un caractère statique. Les axiomes tiennent (hold). En contraste avec cela, le processus d'évolution à partir d'une cellule-germe a un caractère dynamique. Les règles pour le développement d'un relativement petit pattern à un computer efficace, à un organisme, à une théorie mathématique, à un système de production, même à l'univers sont des caractéristiques intégrées du système. C'est le contraste entre la conception statique de la civilisation antique et notre mentalité occidentale.

Je vois un travail de grande importance dans la théorie de la cellule-germe. Ainsi le traitement de données peut se placer au même niveau scientifique que d'autres branches scientifiques. Bien plus, il peut obtenir une importance centrale et stimuler beaucoup d'autres domaines de la recherche, de la science et de la pratique. C'est ce que j'entend par émancipation du traitement de données.

Vu de cette perspective, nous réalisons que le computer et le domaine du traitement de données est encore devant nous. J'espère que ce jour ne signifie pas la fin d'une vie de travail mais le début d'une nouvelle phase de développement."

**References**

- Bauer, F.L. and H. Wössner (1972), The "Plankalkül" of Konrad Zuse: A Forerunner of Today's Programming Languages, copyright 1972, Association for Computing Machinery, Inc., in Communications of the ACM, July 1972, Volume 15, Number 7, pp.678-685.
- Dubois, D. (1983), La vie et les idées de l'inventeur du premier ordinateur: joies et soucis d'un pionnier de l'informatique, le docteur ingénieur E.H. Konrad Zuse, in DEMAIN, Etudes & Expansion, Liège, n°296-297 (n°ISSN: 0700-2809), pp.77-83.
- Dubois, D. (1990), Le labyrinthe de l'intelligence: de l'intelligence naturelle à l'intelligence fractale, 2ème édition, co-édition InterEditions, Paris - Academia, Louvain-la-Neuve, 331 p. D'autres extraits de publications de K. Zuse sont analysés dans ce livre.
- Dubois, D. (1993), Les idées, toujours d'actualité, de l'inventeur du premier ordinateur, le Dr. Ing. K. Zuse, in Actes du 3ème Colloque HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE, INRIA, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, SOPHIA ANTIPO-LIS, FRANCE, 13-15 octobre 1993.
- Knuth, D.E. (1970), Von Neumann's first computer program. Computing Surveys 2, pp.247-260.
- Toffoli, T. and N. Margolus (1987), "Cellular Automata Machines" MIT Press, Cambridge, Mass.

- Zuse, K. (1967), Über selbst reproduzierende Systeme, On self-reproducing systems, Sonderdruck aus "Elektronische Rechenanlagen" (9, Jahrgang 1967), Heft 2, Seite 57-64.
- Zuse, K. (1969), *Rechnender Raum*, Friedr. Vieweg + Sohn-Braunschweig, 70 p.
- Zuse, K. (1970), *Der Computer mein Lebenswerk*, Verlag Moderne Industrie, 221 p.
- Zuse, K. (1973), Space and the Theory of Automata, Paper delivered by Prof. Konrad Zuse on the séminaire interdisciplinaire in Venice 'La théorie de l'information' from May 28 to June 1, 1973, 14 p. This lecture was published in the Italian language: K. Zuse (1974), Spazio e Teoria degli Automi, in *Teoria dell'Informazione, Seminari interdisciplinari di Venezia*, Verlag: Società editrice il Mulino Bologna, S. 97-108, Discussion: S. 109-117.
- Zuse, K. (1976), Some Remarks on the History of Computing in Germany, Lecture at the International Research Conference on the History of Computing, University of California, Los Alamos, 10-15, 1976, 33 p.
- Zuse, K. (1976), *The Plankalkül*, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, Bonn, Nr. 106, 244 p.
- Zuse, K. (1979), Emancipation of Data Processing, Speech on the Occasion of the Award of the Honorary Doctor by the University Hamburg, October 10, 1979, 10 p.
- Zuse, K. (1982), "The Computing Universe", *International Journal of Theoretical Physics*, 21, 6/7, pp. 589-600.



Zuse, K. (1993), *The Computer - My Life*, Springer-Verlag, 245 p.

Zuse, K. (1994), "Discrete Mathematics and Rechnender Raum (Computing Space) -Part 1- Cellular Structured Space (Rechnender Raum) and Physical Phenomena -Part 2-", *Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik, Berlin*, Technical Report TR 94-10.

