

# Evolution du métier de concepteur de systèmes électroniques numériques

---

Emmanuel Boutillon  
Jean-Luc Danger  
Yves Mathieu

**L**es systèmes numériques de télécommunications sont des technologies diffusantes dont les applications se retrouvent dans de nombreux secteurs d'activité. Les femmes et hommes dont la profession est de concevoir ces systèmes sont soumis à des contraintes liées à la croissance permanente de plusieurs facteurs : la demande en nouveaux produits, la complexité des systèmes conçus et enfin la sévère compétition entre les acteurs de la vie économique. Dans ce contexte, les ingénieurs électroniciens sont des hommes-clés qui, même s'il ne représentent qu'un pourcentage faible des moyens humains contribuant à la création d'un nouveau service, détiennent les savoir et savoir-faire nécessaires à la mise au point des nouvelles technologies. Après avoir cerné différents métiers d'ingénieur, nous étudierons l'impact des facteurs précédemment décrits sur l'évolution de ces métiers ainsi que l'adéquation de la formation aux besoins de la société.

## Quels sont les métiers de conception en électronique ?

### *Le métier de base et son contexte*

L'essence du métier repose avant tout sur l'emploi des technologies matérielles pour la réalisation de systèmes de traitement du signal et de l'information. Ces technologies ont considérablement évolué depuis l'invention du transistor, en 1947. La complexité physique des circuits intégrés (puce de silicium interconnectant plusieurs transistors) a été multipliée par cent millions. Leur vitesse de traitement a un accroissement exponentiel (elle double tous les dix-huit mois). Ce rythme avait été remarqué dès 1965 par G. Moore (d'où le nom de loi de Moore). Il s'est toujours maintenu depuis et les prédictions parient sur son maintien pendant au moins dix ans encore. La figure 1 illustre la loi de Moore qui met en évidence l'évolution extrêmement rapide de la complexité des circuits électroniques ces vingt dernières années.

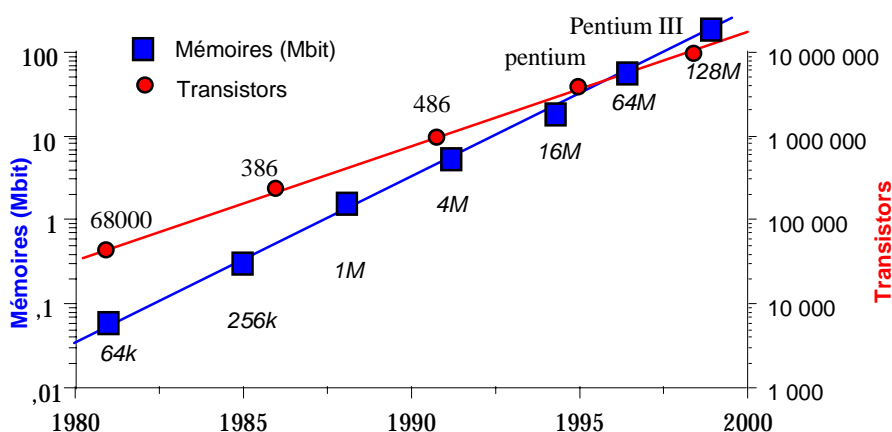


Figure 1. Evolution de la complexité des circuits

Les progrès technologiques induisent naturellement une évolution permanente du métier d'ingénieur électronique. Bon nombre d'applications tirent profit de ces progrès et aujourd'hui tous les nouveaux concepts mettant en œuvre une forte technicité font appel à l'électronique et/ou l'informatique. Mais l'informatique n'a de sens que si la base technologique, composée de circuits électroniques, offre un très haut niveau de qualité, la qualité électronique reposant sur des critères de haute densité d'intégration

des transistors, de grande vitesse de traitement, de faible consommation d'énergie, et bien entendu de faible coût de production.

### ***Cas des télécommunications, domaine « large spectre »***

Avec cette richesse applicative et technologique, le métier d'électronicien se décline souvent en fonction de la spécificité du domaine. Il devient maintenant impossible d'être expert à la fois en téléphonie portable, électronique automobile, accélérateur de jeux vidéo 3D et biopuces (les puces capables d'analyser l'ADN). Le secteur des télécommunications en soit connaît une telle diversité qu'une spécialisation du métier est devenue indispensable pour maîtriser toute la chaîne de communication.

Les fonctions mises en œuvre dans les télécommunications font appel à des connaissances nombreuses et variées, dont celles de l'électronicien. Ce dernier doit avoir de multiples compétences pour faire le pont entre les aspects pratiques et théoriques de façon à pouvoir envisager une réalisation. Par exemple, dans un téléphone portable GSM, l'équipe de conception de la partie radio a des connaissances poussées à la fois en transmission, dans la technologie propre à l'utilisation de fréquences radio ainsi qu'en conception de circuits analogiques et mixtes. En revanche l'équipe de conception numérique doit connaître les techniques de modulation numérique, de décodage et les protocoles réseaux. Une autre équipe est spécialisée dans l'interface homme-machine entre l'utilisateur et le téléphone. Bien entendu, pour chaque équipe, la méthode de conception et les outils sont différents. Pour intégrer le téléphone portable, il faut avoir une vue d'ensemble du système que doivent avoir les « architectes » ou chefs de projets. Bref les métiers d'électronicien dans le domaine des télécommunications sont nombreux et leur ensemble constitue un spectre très large. En revanche chaque métier nécessite une spécialisation dans un domaine d'application, comme par exemple une expertise dans les réseaux, les algorithmes de traitement du signal ou la théorie de l'information.

### ***Quelques profils de métiers***

Les métiers de concepteur en électronique qui sont à l'origine de la révolution du numérique évoluent au rythme des progrès technologiques ainsi que des nouveaux outils et méthodes permettant d'en tirer profit. Voici quelques exemples significatifs.

*Concepteur circuits intégrés.* Ce métier consiste à développer des circuits intégrés personnalisés couramment appelés ASIC (*Application specific integrated circuit*). Il s'adresse à des spécialistes férus de technologie.

*Architecte matériel.* Sa mission principale est de développer un système complexe dans lequel rentrent des compétences électroniques, informatiques et algorithmiques. Ce métier nécessite une grande polyvalence technique et relationnelle. Il évolue vers un niveau de complexité et d'abstraction de plus en plus élevé.

*Ingénieur système temps réel.* Un système temps réel réalise un traitement spécifique à un événement dans un temps « garanti ». Ce type de système se rencontre dans les applications embarquées, c'est-à-dire autonomes et mobiles, comme le téléphone portable. La conception d'un tel système met en œuvre des compétences à la fois électroniques et informatiques de façon à écrire des logiciels « pilotes » des éléments électroniques et à garantir le fonctionnement temporel de tout le système.

*Chercheur.* Le métier est basé sur l'étude des possibilités d'appliquer de nouveaux procédés, méthodes, algorithmes, technologies. Les recherches dans le domaine du numérique essaient de répondre à ces deux questions fondamentales : comment faire évoluer la technologie de fabrication des circuits, voire comment trouver une technologie de remplacement encore plus performante ? Comment tirer profit de ces technologies ou comment concevoir des systèmes de plus en plus complexes et performants mettant en œuvre des microprocesseurs et des dispositifs personnalisés au profit des applications des NTIC ?

### **Evolution des métiers de conception en électronique**

Les métiers de conception de systèmes électroniques pour les systèmes des télécommunications sont influencés par les trois phénomènes suivants :

- les progrès de l'industrie électronique, qui permettent de disposer, à bas coût, de puissances de calcul de plusieurs milliards d'opérations par seconde ;
- le développement très rapide des applications de communications numériques dans la société et la dispersion de ces applications dans de nouveaux secteurs d'activités ;
- une compétition économique sévère entre les différents acteurs de la vie économique.

Ces trois domaines évoluent ensemble de manière dynamique et il serait hasardeux d'en désigner un comme la cause des deux autres. C'est leur conjonction qui forme le cœur de la révolution informatique que nous connaissons aujourd'hui.

## Progrès de l'industrie électronique

L'accroissement des performances de l'électronique (cf. figure 1), même vu sur une période très courte, correspondrait, dans d'autres domaines, à une réelle rupture technologique. Or, l'industrie de l'électronique connaît cet accroissement de façon permanente depuis maintenant quarante ans, ce qui a des incidences directes sur l'évolution des métiers, notamment une spécialisation plus importante et un changement de méthode de conception et des outils.

### *Spécialisation des métiers*

Les métiers ont naturellement évolué pour faire face à cette complexité. Il n'est plus possible d'appréhender cette complexité par un seul homme. Cette évolution se traduit par la création de métiers très spécialisés dans des domaines étroits de la chaîne de conception d'un système matériel de traitement de l'information. Par exemple, sont apparus des ingénieurs spécialistes du développement des bibliothèques de composants dédiés, des ingénieurs chargés de mettre au point le test des circuits (les procédés permettant de s'assurer de la bonne fabrication du circuit), des ingénieurs chargés de l'installation et de la maintenance des outils de CAO (Conception assistée par ordinateur), des ingénieurs chargés d'effectuer des opérations longues et systématiques, mais cruciales, des vérifications finales du circuit.

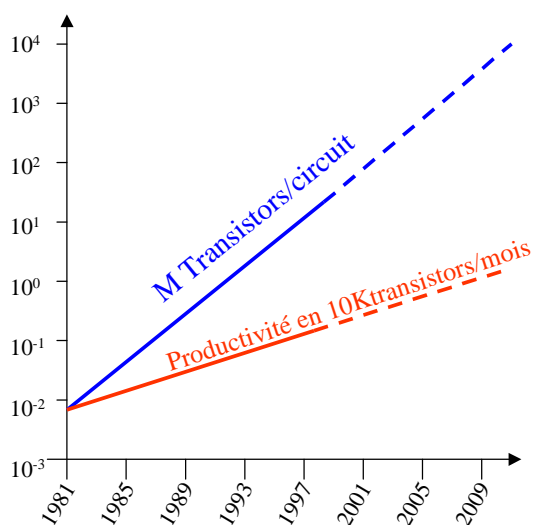
Ainsi, différents aspects très pointus d'une chaîne de conception sont devenus d'une complexité suffisante pour justifier un métier et des spécialistes. La création de tous ces métiers permet à l'architecte du système matériel de s'affranchir d'une grande partie des tâches liées à la technologie. Il peut ainsi se consacrer aux spécifications du système qu'il conçoit, au choix des algorithmes de traitement et des différents compromis entre des contraintes de conception antagonistes.

Les progrès constants de la technologie micro-électronique modifient de façon permanente les modèles technico-économiques permettant à l'architecte de système numérique de prendre des décisions techniques. Prenons l'exemple des décodeurs de télévision numérique. Les premiers prototypes de « décodeur temps réel », dans les années quatre-vingt-dix, étaient composés de plusieurs cartes électroniques comportant divers circuits spécialisés (ASIC). Ces mêmes décodeurs, de nos jours, sont réalisés en logiciel sur la dernière famille de processeurs pour ordinateurs personnels. On est donc passé d'une problématique de développement purement matériel à un développement purement logiciel. Est-ce à dire que les processeurs généralistes permettront à l'avenir d'effectuer tous les

traitements ? Non, car la complexité des nouvelles applications développées croît parallèlement à l'évolution technologique. Les systèmes électroniques utilisent souvent les deux approches, le matériel pour effectuer des calculs intensifs et le logiciel pour le contrôle et les communications.

*Changement des méthodes et des outils*

La productivité humaine évolue, mais plus lentement que le rythme de la complexité des circuits (cf. figure 2).



Source : « The Transistor », *Bell Labs Technical Journal*, Vol. 2, n° 4, automne 1997

Figure 2. Evolution des circuits et de la productivité humaine

Cette figure illustre l'écart entre l'évolution technologique et celle de la productivité humaine. Trois axes sont envisagés pour compenser ce décalage : l'augmentation des ressources humaines, l'amélioration des outils de conception et l'utilisation de nouvelles méthodes de travail.

L'augmentation seule des ressources humaines n'est pas une solution satisfaisante pour des raisons de coûts salariaux et des problèmes d'organisation du travail dans des équipes d'effectifs trop importants. De plus, le nombre d'ingénieurs de conception formé actuellement est insuffisant, essentiellement par manque de vocation. Les futurs ingénieurs

préfèrent généralement se tourner vers des technologies plus proches des services comme les réseaux et l'informatique.

Les outils de CAO ont fait beaucoup de progrès dans toutes les étapes de la conception. Ils tirent parti de la puissance de calcul des ordinateurs sur lesquels ils sont exécutés (station de travail) et des nouveaux algorithmes. Voici quelques exemples significatifs :

- la saisie de la spécification se fait à haut niveau d'abstraction. Elle est facilitée par l'emploi de langages informatiques spécifiques à la description de matériel (les plus utilisés en électronique numérique sont le VHDL et le Verilog) ;

- la transformation automatique de la description textuelle en portes logiques (synthèse logique) est effectuée à des niveaux de fonctionnalités de plus en plus hauts, voire au niveau d'une architecture ;

- l'automatisation des opérations de placement et d'interconnexion des transistors utilise des algorithmes de plus en plus performants pour tenir compte des nouvelles technologies possédant de multiples niveaux de connexion ;

- la validation de la conformité d'un circuit à la spécification est améliorée par des outils permettant de prouver formellement l'identité fonctionnelle entre la spécification et la réalisation, et ce sans avoir à effectuer de longues simulations ;

- la validation d'un système complet avec des parties logicielles et d'autres matérielles peut être envisagée avec des « co-simulateurs » capables d'effectuer simultanément une validation des parties matérielles et logicielles.

Pour apporter ces améliorations, des métiers d'informaticiens spécialistes en outils de CAO ont été créés. Ils requièrent une double compétence électronique/informatique et leur impact est très important sur la qualité des travaux de conception et la possibilité d'utiliser les dernières technologies.

La mise en place de nouvelles méthodes est un facteur déterminant pour suivre l'évolution technologique. Une méthode de réutilisation des blocs conçus préalablement permet de concevoir très vite des circuits volumineux. Cette dernière technique, appelée *design reuse*, est particulièrement intéressante pour créer un système avec des briques hétérogènes. Par exemple, un circuit peut être un assemblage d'un « cœur » de microprocesseur, de briques logicielles (séquence de code optimisée pour une classe de fonctions très spécifique) et de circuits « périphériques ». Les briques de base appelées IP (*Intellectual property*) peuvent soit provenir d'une conception antérieure (réutilisation du travail déjà effectué), soit être

directement achetées à une autre entreprise. Cette nouvelle méthode de conception contribue à l'émergence de deux nouveaux métiers : le concepteur de blocs logiciel ou matériel et l'acheteur de blocs IP. De nombreux sites web ont été créés spécifiquement pour répondre à ce nouveau besoin. Les nouveaux outils et méthodes permettent de délocaliser les équipes participant à un même projet. Les langages de spécification de matériels cités précédemment permettent, par exemple, à différentes équipes de conception de se comprendre et de travailler indépendamment sur des blocs fonctionnels à des niveaux d'abstraction différents. L'unité de temps et de lieu est de moins en moins nécessaire pour concevoir un système numérique.

### *Développement très rapide et diversifié des applications de télécommunications*

#### *Hier, aujourd'hui, demain*

Les premiers systèmes de télécommunications ont tout d'abord permis de relier des hommes entre eux (télégraphe, téléphone, radio, télévision). Puis ils ont été utilisés pour mettre en contact un capteur et un homme (un système d'alarme par exemple) ou un homme et un actionneur (télécommande de télévision) ou les deux à la fois (système de contrôle d'une usine). Ensuite, ils ont permis de relier des ordinateurs afin de décupler leur puissance de calcul. De nos jours, les télécommunications commencent à être placées dans des objets « actifs » ayant des actions « mécaniques » sur le monde réel. Ainsi, on peut envisager dès à présent la voiture intelligente, dans laquelle le conducteur ne serait guère plus qu'un passager. Cette automatisation serait possible, en partie, grâce à des systèmes de télécommunications automatiques intervéhicules (ceux partageant la même portion de route) ainsi que des télécommunications véhicule-infrastructure. Dans le futur, on peut aussi imaginer que chaque ampoule électrique soit capable de transmettre un ordre de remplacement en cas de panne ou de détection de risque de panne. L'intérêt pour le mode médical est aussi très grand. Le corps humain pourra avoir des puces capteurs comme les biopuces capables d'analyser un état pathologique et de transmettre des informations à la station de travail du médecin. Beaucoup de systèmes hétérogènes restent à inventer. Ils demanderont des ingénieurs capables de maîtriser plusieurs domaines de compétences disjointes.

Une chose importante à souligner est l'effet catalyseur d'une innovation technologique. La conception d'un nouveau système matériel (l'invention) requiert une équipe de taille très faible par rapport au nombre de personnes nécessaires au développement logiciel, au marketing, à la production, à la publicité et enfin à la diffusion et l'utilisation de cette invention dans la



société (l'innovation). On peut citer beaucoup d'exemples, celui de la carte à puce est particulièrement frappant.

*Futur « lointain » (dans dix ans)*

Que seront les métiers de l'électronique dans une dizaine d'années, quand les limites physiques de la matière mettront un terme aux progrès de la miniaturisation ? Pour ce faire une idée, tournons nos regards vers la révolution industrielle qui a maintenant atteint sa maturité. Maintenant, que la maîtrise de la force mécanique a profondément modifié notre quotidien, les métiers qui y sont associés sont relativement stables.

D'immenses efforts en programmation et en architecture sont encore à effectuer pour rationaliser l'utilisation des ressources offertes par la technologie micro-électronique. Selon Nicolas Demassieux, directeur du centre de recherche Motorola de Paris, une fois que la loi de Moore s'infléchira, il restera encore une dizaine d'années de progrès sur les systèmes électroniques matériels et logiciels avant d'atteindre les ultimes limites de la technologie du silicium. D'ici là, ce qui est certain, c'est que le quotidien sera bien différent. Nous pouvons aussi imaginer qu'une autre technologie de traitement de l'information apparaisse, beaucoup de laboratoires de recherches travaillent activement sur le sujet (électronique mono-électron, électronique moléculaire, etc.). Dans un futur lointain, peut-être se souviendra-t-on de « l'ère du silicium » comme on désigne, avec une compassion sympathique, « l'ère du charbon ».

**Compétition économique**

La compétitivité dans le domaine de la conception de systèmes de télécommunications est très liée au caractère innovant des produits ou services tirant parti des dernières technologies. L'innovation cependant n'est pas une condition suffisante. Il faut aussi sortir le produit le premier pour accentuer l'impact commercial. D'autre part, la protection industrielle devient un atout majeur, à la fois pour se protéger et pour servir de monnaie d'échange avec les concurrents.

*De la nécessité de concevoir rapidement et sans défaut*

Pour augmenter la compétitivité, le temps de développement d'un produit est devenu une contrainte majeure de la conception de systèmes électroniques. A cette contrainte de rapidité s'ajoute une contrainte de qualité, ou de fabrication « sans défauts ». La méthode de conception et les

outils contribuent à accroître considérablement l'efficacité temporelle et qualitative de la conception comme on l'a précédemment décrit.

Un critère très important aussi bien sur le plan marketing que technique est la capacité de montrer un prototype, de façon à démontrer un futur produit et/ou à valider un concept nouveau. Pour ce faire, des plates-formes mixtes matérielles/logicielles et reprogrammables peuvent être utilisées. Elles utilisent des microprocesseurs mais aussi des circuits intégrés reconfigurables de très grande taille. Ces plates-formes disposent donc à la fois de matériel aux caractéristiques logicielles, de par sa reconfigurabilité, et de logiciels enfouis dans du matériel intégrant des cœurs de microprocesseurs.

L'utilisation de ces techniques rapproche d'une certaine manière l'ingénieur électronicien de l'ingénieur informaticien et permet d'exploiter des méthodes informatiques pour augmenter la productivité électronique. Il faut cependant garder à l'esprit que jusqu'à la réalisation du produit final, le concepteur électronicien ne travaille que sur un modèle logiciel ou matériel relativement imparfait de ce produit alors que l'ingénieur informaticien peut directement concevoir ou modifier le produit final.

#### *Impact des brevets et processus de normalisation*

Le brevet est une arme économique. En effet, une entreprise possédant, dans un domaine particulier, un large portefeuille de brevets est en position dominante. Elle peut, par le jeu de l'attribution des licences d'exploitation, bloquer un concurrent, ou encore négocier avantageusement avec lui. Les brevets sont donc devenus un réel enjeu stratégique pour les entreprises, et les laboratoires de recherche industriels se doivent de déposer un nombre maximum de brevets, même sur des améliorations ou des optimisations que l'on peut objectivement considérer comme marginales. Ainsi, de par la compétition économique, la dimension « brevet » et protection industrielle devient l'une des nouvelles composantes du métier de concepteur de système numérique.

De manière concomitante, la normalisation a pris une part prépondérante dans l'activité des laboratoires de recherche et développement. En effet, la complexité des systèmes de communication et des services associés ainsi que les besoins d'interopérabilité conduisent les entreprises concurrentes à coopérer dans l'établissement des nouvelles normes. Ces normes sont devenues elles-mêmes tellement complexes qu'il est quasiment impossible de les comprendre (et donc de les utiliser) sans participer à leur élaboration. Cela conduit certains ingénieurs spécialistes du domaine à participer à

temps complet aux comités de normalisation, de manière d'une part à donner un avantage temporel décisif à leur entreprise dans la réalisation des nouveaux produits et services, et, d'autre part, à rendre incontournable, dans la mesure du possible, l'utilisation des brevets de leur entreprise.

### **Evolution de la formation des ingénieurs**

Il est clair que ce tourbillon technologique n'est pas sans conséquences sur les méthodes utilisées pour former les ingénieurs concepteurs des nouveaux systèmes de télécommunication. Si globalement la ou les fonctions visées restent relativement stables dans le temps, l'évolution de la réalité du métier contraint le formateur à s'interroger de manière permanente sur la pertinence de la formation proposée.

Quel que soit le niveau de formation requis, le formateur doit construire son projet préservant constamment un équilibre entre l'acquisition de savoirs fondamentaux, susceptibles d'être utilisés tout au long de la carrière des individus formés, et l'acquisition de savoir-faire immédiatement utilisables. Sur ce dernier point, les instituts de formation ont subi une pression très forte du milieu industriel pour augmenter l'efficacité des jeunes diplômés dès leurs sortie des écoles d'ingénieurs. La raison la plus simple à ce phénomène est la diminution drastique de la durée des projets de recherche et développement. Une entreprise ne peut plus se permettre d'attendre deux ans la maturité de ses jeunes embauchés alors qu'elle doit sortir un nouveau produit tous les six mois. Cela conduit le formateur à accroître l'importance des savoir-faire au détriment des savoirs. De manière concomitante les responsables des ressources humaines des mêmes sociétés insistent sur l'importance de la formation humaine, de l'adaptabilité des ingénieurs formés, et de leur ouverture vers des domaines connexes à leur première formation.

Les situations de mise en pratique sont des passages obligés de la formation à la conception de systèmes numériques. Cette technique de formation est très coûteuse en temps et va à l'encontre de la tendance de contraction des volumes horaires destinés à la formation scientifique. Une solution à cela est le développement de l'autonomie des étudiants avec par exemple, l'utilisation de l'internet pour accéder à l'ensemble de la culture électronique. Il faut cependant lui permettre de faire cette exploration de manière clairvoyante tant l'internet semble un fouillis impénétrable; l'acquisition des savoirs théoriques doit donc rester forte de manière à être capable de juger de la pertinence des informations.

## Conclusion

Les métiers de conception des systèmes électroniques pour les communications évoluent dans un contexte en constante transformation. D'une part, les caractéristiques technologiques croissent très rapidement ; d'autre part, les applications des NTIC, qui se nourrissent de ces progrès, se développent à un rythme effréné dans une compétition économique sévère. Pour tirer profit des évolutions technologiques, les métiers de conception se spécialisent. Ils utilisent des nouveaux outils et des méthodes basées sur la réutilisation des conceptions antérieures et sur l'intégration rapide de systèmes électroniques. La compétition économique rajoute à ces métiers des contraintes très fortes sur les temps de développement et la protection industrielle. Il est intéressant de remarquer que l'évolution du métier s'inscrit dans un cycle qui peut s'illustrer par la métaphore de la poule et de l'œuf. Le concepteur de systèmes numériques utilise les machines les plus performantes du moment et ce dans l'unique but de concevoir la génération suivante de machines les plus performantes... Une question va pourtant se poser vers 2012, date à laquelle les technologies actuelles des circuits intégrés arriveront à leur maximum de performances. L'évolution du métier pourra peut être connaître un bouleversement qu'il est difficile de prévoir aujourd'hui.

## Bibliographie

- « Les métiers des télécoms », APEC, *L'emploi des cadres*, Les éditions d'Organisation, 1997.
- « The Transistor », *Bell Labs Technical Journal*, vol. 2, n° 4, automne 1997.