

CHAPITRE IV

MUSIQUE STOCHASTIQUE LIBRE, A L'ORDINATEUR

UN CAS D'UTILISATION DE L'ORDINATEUR
7090 IBM EN COMPOSITION MUSICALE.

Après cet interlude, nous retournons au traitement de la composition par les machines.

La thèse posée par Achorripsis a attendu quatre ans avant d'être réalisée mécaniquement. Cette réalisation est due à M. François Génuys de la Compagnie IBM-France, et à M. Jacques Barraud de la Société des Pétroles Shell-Berre.

MUSIQUE STOCHASTIQUE LIBRE, A L'ORDINATEUR

LE PARADOXE : MUSIQUE ET ORDINATEURS UNE MUSIQUE STOCHASTIQUE TRAITEE PAR LA 7090 IBM

La plupart des publics ont des réactions diverses devant l'alliance de la machine avec la création artistique. Elles peuvent être classées en trois catégories :

a. Il est impossible d'obtenir une *œuvre d'art*, car par définition elle est artisanale et requiert la « création » à chaque instant, dans chaque détail et dans l'ensemble, tandis qu'une machine est chose inerte, elle ne peut inventer.

b. Oui, on peut par jeu, par spéculation, chevaucher une machine mais le résultat ne sera pas « fini », il ne pourra représenter qu'une expérience, intéressante peut-être, mais sans plus.

c. Les enthousiastes qui d'emblée acceptent sans broncher toutes les merveilles d'une science-fiction forcenée. La lune? Eh bien oui, elle est à notre portée. La longévité aussi est pour demain... Pourquoi pas la machine créatrice? Ceux-ci font partie des croyants qui par idiosyncrasie optimiste ont remplacé les mythes d'Icare et des Fées devenus caduques, par la civilisation scientifique du xx^e, qui leur donne en partie raison.

En fait, il n'y a ni paradoxe ni toute puissance animiste de la science, car elle progresse par paliers limités et imprévisibles à trop longue échéance.

Dans tous les arts il a existé ce que nous pouvons appeler le rationalisme au sens étymologique : la recherche de la proportion. L'*artiste* y a toujours fait appel, par *nécessité*. Les règles de construction ont largement varié à travers les siècles mais il y en a eu à toutes les époques. C'est la nécessité de se faire comprendre. Et ceux de la première catégorie sont les premiers à refuser la qualification d'*artistique* à un produit qu'ils ne *comprennent* point.

Ainsi la gamme est une convention qui restreint le champ des virtualités et qui permet de bâtir à l'intérieur de son enceinte, de sa symétrie particulière. Les règles de l'hymnographie chrétienne, les règles de l'harmonie, du contrepoint des diverses époques ont permis aux artistes de construire et de se faire comprendre par ceux qui adoptaient les mêmes contraintes, par tradition, par goût collectif (= mimétisme), par résonance sympathique. Les règles de la série, celles par exemple du bannissement de l'octave héritée de la tonalité, ont imposé des contraintes en partie nouvelles mais réelles.

Or tout ce qui est règle, contrainte répétée, est un morceau de machine mentale, une petite « machine imaginaire » aurait dit Philippot, un choix, un ensemble de décisions. Une œuvre musicale peut être décomposée en une multitude de machines mentales. Un thème mélodique d'une symphonie est un moule, une machine mentale, de même que sa structure. Ces machines mentales sont parfois très restrictives, très déterministes, et parfois très vagues et qui ne tranchent pas suffisamment. Ces dernières années on s'est aperçu que cette notion de mécanisme est vraiment très générale et qu'elle baigne la connaissance humaine et son action dans tous les domaines, depuis la logique stricte jusqu'aux manifestations artistiques. Et comme la roue, une des plus grandes créations de la pensée humaine est un mécanisme qui lui permet d'aller plus loin, plus vite, avec plus de bagages, ainsi en est-il des calculatrices électroniques en ce qui concerne non plus son déplacement physique mais celui de ses idées. Les ordinateurs qui résolvent des problèmes de logique posés par le *Logic Theorist*, groupe de Newell, Shaw et Simon, à l'aide de méthodes heuristiques et en dépit des théorèmes de Church, de Gödel et de Tarski, ne sont pas vraiment à l'origine de l'introduction des mathématiques en musique, mais c'est l'inverse qui s'est produit. Et si les esprits sont en général prêts à reconnaître l'utilité de l'emploi de la géométrie dans les arts plastiques (architecture, peinture,...) ils n'ont plus qu'un petit ruisseau à franchir pour qu'ils puissent

concevoir l'emploi de mathématiques plus abstraites (non visuelles) et l'utilité des machines en tant qu'auxiliaires de la composition musicale plus abstraite que les arts plastiques. Ainsi pour nous résumer :

a. La pensée créatrice de l'homme secrète des mécanismes mentaux qui ne sont, en dernière analyse, que des ensembles de contraintes, de choix, et ceci dans tous les domaines y compris les arts;

b. Certains de ces mécanismes sont mathématisables;

c. Certains de ces mécanismes sont réalisables physiquement, (roue, moteurs, fusées, machines à calculer, analogiques etc.);

d. Certains mécanismes mentaux peuvent trouver des correspondances avec certains mécanismes de la nature;

e. Certains aspects mécanisables de la création artistique peuvent être simulés par certains mécanismes physiques (machines) existants ou à créer;

f. Il se trouve que les ordinateurs peuvent rendre certains services.

Voici donc le point de départ théorique d'une utilisation des calculatrices électroniques en composition musicale.

On peut de plus affirmer que :

Le rôle du compositeur actuel se trouve complété d'une part par son évolution sur un niveau plus élevé, celui de l'invention de schèmes (anciennement des formes), de l'exploration des limites de ces schèmes, et d'autre part, par celui de la synthèse scientifique des moyens nouveaux de la fabrication et de l'émission des sons qui doivent à courte échéance englober tous les anciens ou récents moyens de la lutherie instrumentale et électromagnétique à l'aide par exemple de convertisseurs analogiques déjà utilisée dans les études des communications par N. Guttman, J.R. Pierce et M.V. Mathews des Bell Telephone Laboratories de New York. Or ces explorations nécessitent un bagage mathématique, logique, physique et psychologique impressionnant et surtout des calculatrices électroniques qui accéléreraient les processus mentaux du défrichement des nouveaux domaines avec des vérifications expérimentales immédiates à toutes les étapes de la construction musicale.

La musique, de par son essence abstraite, est le premier des arts à avoir tenté la conciliation de la pensée scientifique et de la création artistique. Son industrialisation est fatale et irréversible. N'avons-nous pas déjà les tentatives d'industrialisation des musiques sérielles et légères entreprises par l'équipe parisienne : P. Barbaud, P. Blanchard,

MUSIQUES FORMELLES

Jeanine Charbonnier, ainsi que les recherches musicologiques de L.A. Hiller et L.M. Isaacson de l'Illinois University aux U.S.A.?

Dans les chapitres précédents nous avons montré quelques domaines nouveaux de création musicale : processus poissonniens, markoviens, jeux musicaux, thèse du minimum des règles, etc. Ils sont tous basés sur les mathématiques et plus spécialement sur la théorie des probabilités. Ils sont donc très largement susceptibles d'être traités et explorés par les ordinateurs. Le schème le plus simple et particulièrement significatif, est dans la thèse du minimum des contraintes de composition défendue dans Achorripsis.

C'est grâce à mon ami M. Georges Boudouris du C.N.R.S. que j'ai fait la connaissance de M. Jacques Barraud, Ingénieur de l'Ecole des Mines, Directeur des Ensembles Electroniques de Gestion de la Société des Pétroles Shell-Berre et qui a bien accepté de m'introduire auprès de M. François Génueys, agrégé de mathématiques et chef des Etudes Scientifiques Nouvelles de IBM-France. Tous les trois sont des scientifiques et pourtant ils ont consenti à tenter une expérience à première vue farfelue, celle d'un mariage de la musique avec la machine la plus



*La direction d'IBM France,
et Monsieur Ianis Xenakis, compositeur,
prient _____
de bien vouloir assister à la présentation et à
l'audition d'une œuvre de musique stochastique
instrumentale, qui aura lieu le 24 mai, à 18 h. 15,
au siège d'IBM France, 5 place Vendôme.*

R.S.V.P.

5, place Vendôme

puissante au monde. Dans la plupart des relations humaines il est rarement question de persuasion logique pure. Il est surtout question d'intérêt matériel. Or, dans ce cas ce n'est ni la logique et encore moins l'intérêt qui ont enclenché le mariage. Il semble que la décision gratuite dans sa

MUSIQUE STOCHASTIQUE A L'ORDINATEUR

forme la plus pure, l'expérience pour l'expérience, le jeu pour le jeu, fut à l'origine de leur collaboration. Stochastiquement parlant ma démarche aurait dû essuyer un échec. Or les portes se sont ouvertes et au bout d'un an et demi de contacts et de travail eut lieu le 24 mai 1962 au siège d'IBM-France, 5 place Vendôme à Paris, « l'événement le plus insolite de la maison et de la saison musicale », un concert vivant dans lequel était présentée une œuvre de musique stochastique instrumentale la ST/10-1,080262, calculée par la 7090 et menée à la réussite par le chef d'orchestre C. Simonovic et son *Ensemble Instrumental de Musique Contemporaine de Paris*.

LA COMPOSITION DE L'ŒUVRE STOCHASTIQUE
ST 1 10-1,08 02 62
A ÉTÉ CALCULÉE SUR L'ORDINATEUR 7090
DE L'INSTITUT EUROPÉEN DE CALCUL SCIENTIFIQUE.

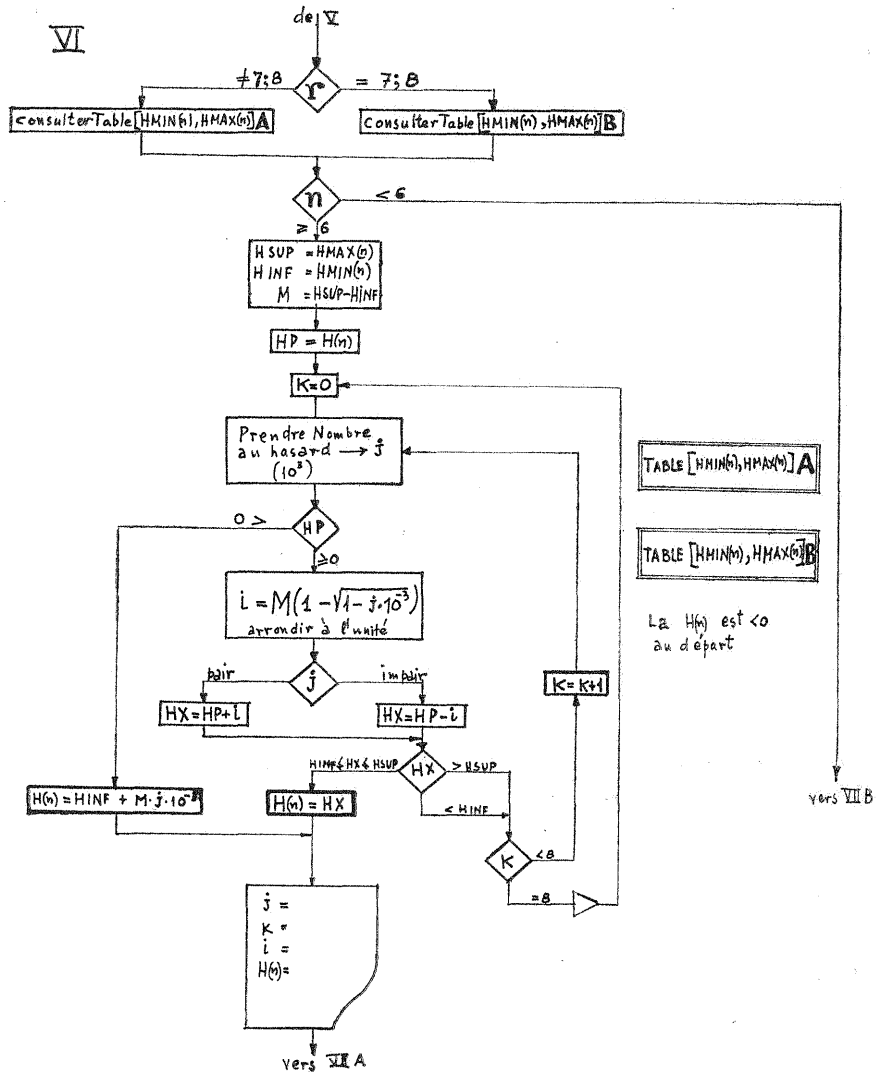
LE MORCEAU SERA EXÉCUTÉ PAR L'ENSEMBLE
INSTRUMENTAL DE MUSIQUE CONTEMPORAINE DE PARIS.
SOUS LA DIRECTION DE CONSTANTIN SIMONOVIC.
AVEC LE CONCOURS DU SERVICE DE LA RECHERCHE
DE LA R.T.F.

Cette œuvre objectivise par son passage à la machine une méthode stochastique de composition, celle du minimum de contraintes, de règles.

POSITION DU PROBLÈME.

La première phase du travail fut l'élaboration de l'organigramme, c'est-à-dire, l'écriture claire et ordonnée des étapes et des opérations du schème d'Achorripsis, en l'adaptant à la structure de la machine. Au premier chapitre nous avons exposé la méthode synthétique globale de cette structure minimale. Or la machine est un appareil à itérations qu'elle sait faire merveilleusement vite. Il fallait donc décomposer la thèse en une série séquentielle d'opérations réitérées en boucles.

Voici un extrait du premier organigramme :



L'énoncé de la thèse d'Achorripsis reçoit une première interprétation proche de la machine de la manière suivante :

MUSIQUE STOCHASTIQUE A L'ORDINATEUR

I. *L'œuvre est constituée par une succession de séquences (de mouvements) de a_i secondes chacune.* Leurs durées sont totalement indépendantes (asymétriques) mais ont une durée moyenne fixe qui est introduite sous forme de paramètre. Ces durées et leur succession stochastique sont données par la formule :

$$P_{a_i} = ce^{-ca_i} \cdot da_i \quad (\text{voir appendice 1})$$

II. *Définition de la densité moyenne de sons durant a_i .* Pendant une séquence sont émis des sons de diverses sources sonores. Si le nombre total de ces sons (points) durant une séquence est N_{a_i} , la densité moyenne de ce nuage de points est N_{a_i}/a_i sons (points) par seconde. En général et pour un ensemble instrumental donné, cette densité a des limites dues au nombre des instrumentistes, à la nature des instruments et à la difficulté technique. Pour un grand orchestre la limite supérieure est de l'ordre de 150 sons/sec. La limite inférieure est arbitraire. Nous avons choisi 0,11 sons/sec. D'autre part des expériences antérieures nous ont conduits à adopter une progression logarithmique de la sensation de densité avec comme base un nombre compris entre 2 et 3. Nous adoptons le nombre $e = 2,71827$. Ainsi les densités sont comprises entre $0,11 \cdot e^6$ et $0,11 \cdot e^6$ sons par seconde que nous figurons sur une droite graduée logarithmiquement (base e). Comme notre propos est l'indépendance totale, nous attribuons à chacune des séquences a_i calculée en (I) une densité représentée par un point tiré au hasard (équiprobabilité), de la portion de droite sus-mentionnée. Pourtant un certain souci de continuité nous amène à tempérer l'indépendance des densités entre les séquences, c'est pour cela que nous introduisons une certaine « mémoire » de séquence à séquence de la manière suivante :

soit a_{i-1} une séquence de durée a_{i-1} , $c_{a_{i-1}}$ sa densité, a_i la séquence suivante de durée a_i et c_{a_i} sa densité. La densité c_{a_i} sera donnée par la formule :

$$c_{a_i} = c_{a_{i-1}} \pm e^x \cdot 0,11$$

dans laquelle x est un segment de droite tiré au hasard d'un segment de droite s de longueur égale à $(6 - 0)$. La probabilité de x est donnée par la formule :

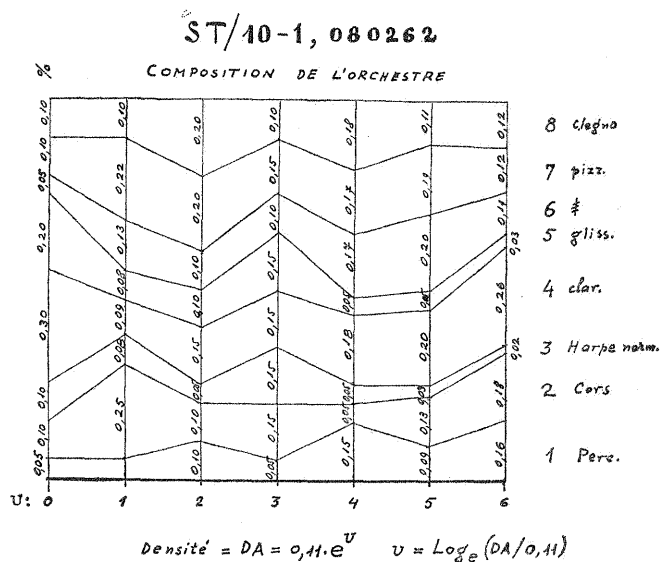
$$P_x = \frac{2}{s} \left(1 - \frac{x}{s}\right) dx \quad (\text{v. appendice 1})$$

MUSIQUES FORMELLES

et enfin,

$$N_{a_i} = c_{a_i} \cdot a_i$$

III. On définit la composition de l'orchestre durant la séquence a_i . — On divise d'abord les instruments en r classes de timbres, par exemple classe des flûtes + clarinettes, classe du hautbois + bassons, classe des cuivres, classe des crins d'archet, classe des pizzicati, classe des frappés col legno, classe des glissandi, classe des percussions bois peaux et métal, etc. La composition de l'orchestre est conçue stochastiquement c'est-à-dire que le dosage des classes n'est pas déterministe. Ainsi, durant une séquence de durée a_i il se peut qu'on ait : 80 % de la classe des pizzicati, 10 % de la classe des percussions, 7 % de la classe des claviers, 3 % de la classe des flûtes... Dans les conditions actuelles, le facteur déterminant qui conditionnerait la composition de l'orchestre est la densité. Nous liions donc la composition de l'orchestre à la densité à l'aide d'un diagramme spécial. En voici un exemple de ST/10...



Ce diagramme s'exprime par la formule suivante :

$$Q_r = (n - x) \cdot (e_{n,r} - e_{n+1,r}) + e_{n,r} ;$$

(r = numéro de la classe, $x = \frac{\log_e c_{n1}}{0,11}$, $n = 0,1,2,\dots,6$ tel que

$n \leq x \leq n + 1$ et $e_{n,r}$ et $e_{n+1,r}$, les probabilités de la classe r en fonction de n).

Il va sans dire que la composition de ce tableau est un travail de précision très délicat et complexe.

Une fois que ces préalables sont exécutés, nous définissons l'un après l'autre les N_{s1} sons de la séquence a_i .

IV. *Définition de la date d'occurrence du son N à l'intérieur de la séquence a_i .* — La densité moyenne des points (sons) à répartir sur a_i étant $k = N_{s1}/a_i$, la formule qui donne les intervalles qui séparent les attaques des sons est :

$$P_t = k \cdot e^{-kt} \cdot dt \quad (\text{v. appendice 1})$$

V. *Attribuer au son précédent un instrument de l'orchestre Q déjà calculé.* — D'abord on extrait au hasard la classe r de la formation orchestrale calculée en (III), [modèle de l'urne avec des boules de r couleurs]. Ensuite, on extrait au hasard à l'intérieur de la classe r le numéro de l'instrument suivant la probabilité q_n donnée par une table arbitraire (urne avec des boules de n couleurs). Ici aussi le dosage des instruments à l'intérieur d'une classe est délicat et complexe.

VI. *Attribuer une hauteur en fonction de l'instrument.* — On se donne une origine, prise égale à zéro, correspondante au plus grave si bémol du piano, et on établit une échelle chromatique en demi-tons de 85 degrés environ. L'étendue s de chaque instrument est exprimée ainsi par un nombre naturel (distance). Mais, la hauteur h_u d'un son sera exprimée par un nombre décimal dont la partie entière se rapportera à un degré de l'échelle chromatique pris à l'intérieur de l'étendue de l'instrument.

Comme pour la densité du paragraphe (II) on accepte une certaine mémoire (dépendance) de la hauteur précédente jouée par le même instrument, de sorte que l'on a :

$$h_u = h_{u-1} \pm z$$

ou z est donné par la formule de probabilité,

$$P_z = \frac{2}{s} \left(1 - \frac{z}{s}\right) dz \quad (\text{v. appendice 1})$$

P_z est la probabilité de l'intervalle z extrait au hasard de l'étendue s exprimée par la différence des bornes de l'instrument.

VII. *Attribuer une vitesse de glissement si la classe r est caractérisée par le glissando.* — Les hypothèses d'homogénéité nous avaient conduits au chapitre I à la formule :

$$f(v) = \frac{2}{a\sqrt{\pi}} e^{-v^2/a^2} \text{ et par la transformation } v/a = u \text{ à son homologue,}$$

$$T(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-u^2} du \text{ pour laquelle on consulte des tables; } f(v)$$

étant la probabilité d'occurrence de la vitesse v (en demi-tons par seconde) et a un paramètre proportionnel à l'écart type s ($a = s\sqrt{2}$).

On définit a en fonction du logarithme de la densité de la séquence a_i , par :

une fonction inversement proportionnelle,

$$a = \sqrt{\pi} \left(30 - \frac{20}{7} L(c_{a_i}/0,13)\right)$$

ou bien par :

une fonction directement proportionnelle,

$$a = \sqrt{\pi} \left(10 + \frac{20}{7} L(c_{a_i}/0,13)\right)$$

ou bien par :

une fonction indépendante de la densité,

$$a = 17,7 + 35.k$$

(k est un nombre aléatoire compris entre 0 et 1)

Les constantes des formules précédentes dérivent des limites des valeurs que peuvent prendre les vitesses de glissando jouées sur les instruments à archet.

Ainsi pour $c_{a1} = 145$ sons/sec $a = 53,2$ demi-tons/sec

$2s = 75$ demi-tons/sec

Ainsi pour $c_{a1} = 0,13$ sons/sec $a = 17,7$ demi-tons/sec

$2s = 25$ demi-tons/sec

VIII. *Attribuer une durée x au son émis.* — Pour simplifier, nous admettons une durée moyenne par instrument, indépendante de la tessiture et de la nuance. Par conséquent, nous nous réservons le droit de la modifier à la phase de la transcription en notation traditionnelle. Voici maintenant la liste des contraintes dont nous devons tenir compte à l'établissement de la durée x.

Contraintes :

Longueur maximum de respiration, G;

Densité de la séquence, c_{a1} ;

Probabilité de la classe r, p_r ;

Probabilité de l'instrument n, q_n ;

et la durée moyenne z d'un son est inversement proportionnelle à la probabilité d'occurrence de l'instrument, donc :

$$z = 1/c_{a1} \cdot p_r \cdot q_n.$$

et z sera maximum pour $(c_{a1} \cdot p_r \cdot q_n)$ minimum et dans ce cas nous aurions pu choisir $z_{\max.} = G$.

MUSIQUES FORMELLES

Au lieu de prendre $z_{\max} = G$, nous fixerons une loi logarithmique de manière à geler la croissance de z . Cette loi est pour (c_{s_i}, p_r, q_n) quelconque,

$$z' = z \cdot a^{-z} \text{ dans laquelle } a \text{ est tiré de } z_{\max} a^{-z_{\max}} = G.$$

Puisque nous admettons une indépendance totale, la forme de répartition des durées x sera gaussienne,

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-(x-m)^2/2s^2} \quad m \text{ étant la moyenne arithmétique des}$$

durées, s l'écart-type, et $\begin{matrix} m - 2s = 0 \\ m + 2s = z' \end{matrix}$ le système linéaire qui nous fournira

les constantes m et s . En posant $u = (x-m)/s\sqrt{2}$ nous retrouvons la fonction $T(u)$, pour laquelle on consulte des tables.

Enfin, la durée x du son sera donnée par la relation :

$$x = u \cdot s \cdot \sqrt{2} + m$$

Nous ne tenons pas compte des incompatibilités entre instruments, car ceci alourdirait inutilement le programme et le calcul de la machine.

IX. *Attribuer une forme dynamique au son émis.* — Nous admettons quatre zones d'intensités moyennes :

$$ppp, p, f, ff.$$

Nous réalisons des combinaisons permutées de ces quatre éléments trois à trois avec répétition. Il vient,

$4^3 = 64$ combinaisons dont 44 distinctes; (modèle de l'urne avec 44 couleurs). Exemple, $ppp < f > p$.

X. On recommence les mêmes opérations pour chacun des sons du nuage N_{s_i} .

XI. On recalcule de la même façon d'autres séquences.

MUSIQUE STOCHASTIQUE A L'ORDINATEUR

Nous avons terminé avec l'énoncé séquentiel dont un extrait a été reproduit. Maintenant il faut procéder à la transcription en langage Fortran que la machine « comprend ».



```

PROGRAMME XENAKIS  STOCHASTIC MUSIC

      READ CONSTANTS AND TABLES
      DIMENSION (I,12),SI(12),E(12,12),PN(12,50),SPN(12,50),NT(12),
      HW(12,50),HMAX(12,50),HBM(12,50),HBMX(12,50),GN(12,50),M(12
      2,50),TETA(256),VIGL(3),MODI(7),Z(16),Z2(8),ALFA(3),AMAX(12)
      I=1
      DO 36 IX=1,7
      IX8=8-IX
      MODI((IX8)=1
      I=I+1
36 CONTINUE
      READ INPUT TAPE 5,114,(TETA(I),I=1,256)
      READ INPUT TAPE 5,113,(Z1(I),Z2(I),I=1,8)
3000 READ INPUT TAPE 5,110,DELTA,V3,A10,A20,A17,A30,A35,BF,SQPI,EPST,V1
      J1LM,ALFA,ALIM
      READ INPUT TAPE 5,109,KT1,KT2,KW,KML,KTR,KTE,KRI,GTNA,GTNS,(NT(I),
      I=1,KTR)
      READ INPUT TAPE 5,115,KTEST3,KTEST1,KTEST2
      IF(KTEST3)2000,2001,2000
2000 PRINT 118
2001 K=KTE-1
      A10=A10+SQPI
      A20=A20+SQPI/R
      A30=A30+SQPI
      DO 92 I=1,KTR
      Y=0.
      KTS=NT(I)
      READ INPUT TAPE 5,112,(HAMIN(I,J),HMAX(I,J),HBMIN(I,J),HBMX(I,J),
      1,GN(I,J),PN(I,J),J=1,KTS)
      DO 95 J=1,KTS
      Y=Y+PN(I,J)
      SPN(I,J)=Y
95 CONTINUE
      IF(ABSF(V-1.)-EPST)92,9,9
92 CONTINUE
      DO 90 I=1,KTR
      READ INPUT TAPE 5,111,(E(I,J),J=1,KTE)
90 CONTINUE
      DO 88 J=1,KTE
      Y=0.
      DO 83 I=1,KTR
      Y=Y+E(I,J)
83 CONTINUE
      IF(ABSF(V-1.)-EPST)86,9,9
88 CONTINUE
      DO 30 I=1,KTR
      AMAX(I)=1./E(I,1)
      DO 30 J=2,KTE
      AJ=J-1
      AX=1./((E(I,J)+EXP(AJ))

```

MUSIQUES FORMELLES

Il n'est pas de notre propos de décrire la transformation en Fortran de l'organigramme. Il serait pourtant intéressant de montrer par un exemple l'adaptation d'une expression mathématique aux façons de faire de la machine.

Considérons la loi de probabilité élémentaire :

$$f(x).dx = c.e^{-cx}.dx \quad [20]$$

comment allons-nous faire pour que l'ordinateur nous donne des longueurs x avec la probabilité $f(x).dx$?

La machine ne peut que tirer des nombres y au hasard, compris entre 0 et 1, avec équiprobabilité. Or, voici comment nous allons « moduler » cette équiprobabilité :

Soit une longueur quelconque x_0 ; on a :

$$\text{probab. } (0 \leq x \leq x_0) = \int_0^{x_0} f(x).dx = 1 - e^{-cx_0} = F(x_0),$$

$F(x_0)$ est la fonction de répartition des x . Mais,

$$F(x_0) = \text{probab. } (0 \leq y \leq y_0) = y_0$$

$$\text{donc } 1 - e^{-cx_0} = y_0 \quad \text{et} \quad x_0 = -\frac{\text{Lg}(1 - y_0)}{c} \quad \text{pour tout } x_0 \geq 0.$$

Une fois le programme transcrit en langage assimilable par l'organisation interne de la machine (cela nous a pris plusieurs mois), on procède à la perforation des cartes et ensuite à une série de tests, c'est-à-dire à des courts passages en machine pour détecter les erreurs de logique, d'orthographe et pour fixer les valeurs des paramètres d'entrée qui sont introduits sous forme de variables. C'est une phase très importante qui permet d'explorer toutes les zones du programme et de définir les modalités de son exploitation.

MUSIQUE STOCHASTIQUE A L'ORDINATEUR

La phase finale est le décodage des résultats en notation traditionnelle, à moins de disposer d'un transcritteur automatique.



Résultats provisoires d'une phase de l'analyse.

JW=	1	A=	7.71	NA=	67	Q(1)=0.09/0.15/0.16/0.16/0.15/0.02/0.08/0.13/0.06/	DUREE	DYNAM		
N	1	TA	CLAS	INST	H	VIGL1	VIGL2	VIGL3	DUREE	DYNAM
2	2	0.	6	10	33.0	0.	0.	0.	0.	22
3	3	0.07	6	11	25.9	0.	0.	0.	13.94	56
4	4	0.09	9	1	60.7	0.	0.	0.	3.98	15
5	5	0.14	3	4	20.6	0.	0.	0.	0.89	1
6	6	0.24	3	2	50.1	0.	0.	0.	1.20	36
7	7	0.28	7	26	48.7	0.	0.	0.	0.	58
8	8	0.33	7	25	47.2	0.	0.	0.	0.	9
9	9	0.40	8	40	33.0	0.	0.	0.	0.	11
10	10	0.54	5	34	24.1	-8.0	-10.0	-8.0	4.72	53
11	11	0.68	8	38	42.0	0.	0.	0.	0.	54
12	12	0.72	2	5	42.0	0.	0.	0.	1.39	22
13	13	0.85	4	3	58.3	0.	0.	0.	1.60	15
14	14	0.85	2	7	34.0	0.	0.	0.	1.59	56
15	15	0.98	4	3	24.0	0.	0.	0.	1.76	55
16	16	1.23	4	2	42.0	0.	0.	0.	0.74	44
17	17	1.26	2	6	43.4	0.	0.	0.	2.12	15
18	18	1.28	3	2	61.9	0.	0.	0.	1.70	2
19	19	1.30	5	3	55.7	0.	0.	0.	0.29	38
20	20	1.34	2	5	58.1	0.	0.	0.	2.97	13
21	21	1.35	8	5	64.4	0.	0.	0.	0.	31
22	22	1.52	3	2	41.4	0.	0.	0.	0.	22
23	23	1.59	5	32	49.8	0.	0.	0.	0.02	53
24	24	1.63	7	7	46.7	-13.0	14.0	-11.0	4.10	25
25	25	1.68	7	38	44.7	0.	0.	0.	0.	7
26	26	1.68	6	4	41.5	0.	0.	0.	13.68	41
27	27	1.73	4	4	40.9	0.	0.	0.	0.66	13
28	28	1.73	2	6	18.4	0.	0.	0.	0.64	32
29	29	1.83	8	33	28.6	0.	0.	0.	0.	46
30	30	1.86	3	1	61.1	0.	0.	0.	0.79	14
31	31	1.95	2	3	40.1	0.	0.	0.	2.34	48
32	32	2.07	3	2	41.2	0.	0.	0.	1.21	9
33	33	2.19	3	4	0.	0.	0.	0.	8.63	56
34	34	2.33	5	16	47.8	-38.0	-24.0	-31.0	4.20	19
35	35	2.56	9	1	63.9	0.	0.	0.	1.84	54
36	36	2.61	5	22	67.6	-37.0	-50.0	31.0	12.97	41
37	37	2.67	8	46	23.4	0.	0.	0.	0.	33
38	38	2.75	4	1	67.9	0.	0.	0.	1.52	51
39	39	2.78	9	2	70.3	0.	0.	0.	6.06	6
40	40	2.92	4	4	25.1	0.	0.	0.	0.48	52
41	41	2.93	4	2	73.1	0.	0.	0.	1.02	25
42	42	2.98	7	42	25.9	0.	0.	0.	0.	43
43	43	3.08	4	2	54.7	0.	0.	0.	0.95	38
44	44	3.15	5	45	24.3	32.0	-20.0	26.0	5.78	60
45	45	3.17	5	43	38.4	21.0	-20.0	17.0	9.33	33
46	46	3.22	4	2	67.2	0.	0.	0.	0.34	60
47	47	3.22	8	41	33.6	0.	0.	0.	0.	5
48	48	3.25	7	2	59.9	0.	0.	0.	0.	43
49	49	3.34	9	1	57.0	0.	0.	0.	2.50	47
50	50	3.62	1	7	0.	0.	0.	0.	17.06	10
		3.67	8	13	54.3	0.	0.	0.	0.	41

ST // 10-1, 080262

1. Xenakis

$JN=4$
 $\frac{4+4}{8}$
 $\phi = 40 \leftrightarrow 60 \leftrightarrow 80 MM$

MUSIQUE STOCHASTIQUE A L'ORDINATEUR

Conclusions. — Une infinité de compositions du genre de ST/10-1,080262 est possible, pour une infinité de formations d'orchestre. Déjà une deuxième a été établie pour grand orchestre, commandée par la RTF (France III) et intitulée ST/48-1,240162; Atrées pour 10 solistes, Morsima-Amorsima pour 4 solistes, etc...

Quoique ce programme donne une solution assez satisfaisante du schème de la structure minimale, il serait pourtant nécessaire de franchir l'étape de la composition pure, en couplant à la machine digitale un convertisseur analogique des calculs numériques en sons dont toute l'organisation interne serait conçue à l'avance. A ce moment on pourrait faire fructifier et généraliser les conceptions décrites aux chapitres précédents.

Voici enfin quelques avantages de l'utilisation des cerveaux électroniques en composition musicale.

a). Le calcul long et laborieux fait à la main est réduit à néant. Les vitesses de calcul des machines, par exemple de la 7090 IBM, qui contrôle en ce moment la fusée vénusienne des U.S.A., sont très grandes, de l'ordre de 500 000 opérations élémentaires à la seconde. D'où économie de temps !

b). Le compositeur ainsi libéré des calculs fastidieux peut davantage se consacrer aux problèmes généraux que pose la nouvelle forme musicale et explorer les plis et les recoins de cette forme en modifiant les valeurs des données initiales. Par exemple, il peut tester toutes les combinaisons instrumentales allant des instruments solistes, en passant par les orchestres de chambre, jusqu'aux grands orchestres. Le compositeur devient à l'aide des cerveaux électroniques une sorte de pilote appuyant des boutons, introduisant des coordonnées et surveillant les cadrans d'un vaisseau cosmique naviguant dans l'espace des sons à travers des constellations et des galaxies sonores que seulement par le rêve lointain il pouvait entrevoir jadis.

Maintenant il peut les explorer à son aise assis dans un fauteuil.

c). Le programme, c'est-à-dire la liste des opérations séquentielles qui constituent la forme musicale nouvelle, est une objectivation de cette forme. Le programme peut, par conséquent, être expédié à n'importe quel point de la terre qui possède des cerveaux de type semblable et être exploité par n'importe quel compositeur pilote.

d). Du fait de certaines incertitudes introduites dans le programme, un compositeur pilote peut imprimer sa propre personnalité dans le résultat sonore qu'il obtiendra.