

# Le contraste bien mesuré

Denis Lorrain

La musique incarne toujours une forme ; la musique *est* une forme épanouie dans le temps.

Le simple recours à des formalismes mathématiques ne justifie pas, à lui seul, l'expression *formalisation musicale*. Mais il n'en demeure pas moins que, d'un point de vue simplement fonctionnel, la formalisation peut être assimilée très généralement à l'élaboration humaine de schémas abstraits. Dans ce cas, elle caractérise inévitablement toute démarche compositionnelle : même des systèmes musicaux élaborés dans un cadre très peu formalisé consistant, au minimum, en une organisation des combinaisons concrètes de matériaux conçus en vue d'une œuvre donnée.

Ce n'est cependant pas dans la seule nature rationnelle, et parfois systématique, des processus musicaux que peut résider l'originalité d'une démarche *formalisée*, car cette nature est partagée par l'ensemble de la musique contemporaine, mais dans sa tentative de mener une réflexion abstraite sur les phénomènes musicaux, et les organisations diverses qu'ils sont à même d'épouser, dans l'espoir de déboucher sur des modèles opératoires généraux, susceptibles d'applications musicales.

Dans le domaine artistique, le terme *formalisme* est généralement péjoratif ; comme l'écrit Paul Klee : "le formalisme, c'est la forme sans la fonction [...] la *forme* est fin, mort. La *formation* est vie."<sup>(1)</sup> Dans le cas de la musique, cependant, du fait que la communication établie entre le compositeur et l'auditeur n'est basée, pour chacun d'eux, sur aucune définition précise de ce que l'autre *entend* vraiment, il n'est pas facile de savoir si elle véhicule une sémantique, une signification, ou si elle n'est pas autre chose qu'un jeu gratuit de formes disposées dans le temps. Si l'on admet généralement que, d'un point de vue esthétique, la musique est capable d'éveiller chez l'auditeur aussi bien des émotions que des raisonnements abstraits, voire même de signifier un *programme* par le biais de conventions données, il est sans doute particulier à cet art que les

jeux de combinaisons abstraites y occupent depuis toujours, surtout d'un point de vue poétique, une place prépondérante<sup>(2)</sup>.

Une formalisation consisterait, finalement, en un ensemble de règles d'organisation musicale —un modèle opératoire susceptible d'applications—, déduites d'une réflexion théorique initiale, donc obligatoirement dépendantes de certaines conceptions et critères musicaux fondamentaux, et dirigées vers un certain objectif. Un telle démarche *procède* de la réflexion, et *visé* un objectif. Elle s'établit naturellement en deux temps, donnant ainsi raison à Klee : après la conception du système, vient sa *mise en œuvre*.

Une telle formalisation comporte nécessairement certaines simplifications, et néglige des détails pouvant être laissés à l'écart au niveau de son propre domaine de réflexion, afin de permettre la cristallisation explicite d'une pensée et d'une procédure. Cette simplification doit permettre, par contre, l'élaboration d'une structure hiérarchique complexe à partir des éléments relativement réduits dont elle se limite à rendre compte. Une telle élaboration, du simple au complexe, constitue d'ailleurs une démarche mentale familière : la complexité et la richesse globale proviennent souvent, jusque dans la nature, de l'interaction de quelques éléments en vertu de règles finalement peu nombreuses, et assez simples. Un système formalisé devrait receler, en tous cas, un éventail suffisamment riche de possibilités combinatoires pour être la source de réalisations musicales satisfaisantes, du point de vue de leur complexité et de leur variété, et même, idéalement, démontrer une certaine qualité permanente, supérieurement prégnante, une capacité d'application à différents types de matériaux musicaux, et de prise en compte de relations variées entre eux, afin de pouvoir faire face à sa mise en œuvre, à son développement et son affirmation dans la *durée* d'une pièce musicale, ou éventuellement de plusieurs pièces.

Alors que s'étend devant lui un horizon musical extraordinairement vaste, le compositeur doit se donner à lui-même les bases théoriques et formelles dont il a besoin pour agir ; il doit, en quelque sorte, créer le cadre dans lequel se déroulera son aventure. Dans une telle situation, la réflexion théorique est la *condition* de la pratique musicale. Tout nous enseigne, ne serait-ce que la vie quotidienne, que la seule façon d'assumer une liberté est de se doter soi-même des ressources indispensables à l'action. Et, ce qui caractérise le créateur, c'est justement cette *volonté d'agir, librement*.

Il n'y a pas lieu d'espérer, ni même de souhaiter, que se dégage de ce processus, finalement très individuel, une espèce de nouveau système musical universel. Car l'effort du créateur est essentiellement fonctionnel. C'est uniquement parce qu'il a décidé d'agir qu'il a élaboré un certain système, dont la raison d'être est d'étayer un projet d'action, et de servir un objectif musical concret.

Un système ne sert pas d'autre but que de clarifier les tenants et aboutissants des choix subjectifs essentiels, c'est-à-dire de servir de *support* à l'affirmation de l'individualité subjective. Mais les systèmes sont toujours dépassés par les événements, et, dans le cours de l'histoire, tout est passager, d'autant plus épisodique que le cours en est rapide. Il ne demeure, constante, qu'une certaine volonté de créer. Et cette volonté est toujours, elle, éminemment belle et respectable. En ce sens, l'art n'est rien de plus qu'un défi métaphysique, à la fois courageux et sans doute lucidement désespéré, l'affirmation d'une volonté d'action gratuite. C'est dans cet optimisme

désabusé que se trouve son ressort. "Le monde exige qu'on le pense. Dès que l'on met l'esprit en présence du monde, instinctivement il le pèse et le mesure. C'est sa loi et sa raison d'être. Il chiffre. Par ces opérations, le monde change de nature et devient simplement un nombre. Il est pensé. Et nous l'avons pensé pour le détruire, sinon il aurait bêtement détruit notre pensée. Or, c'est tout ce que nous avons, notre pensée. Oui, tout. Et, si j'y vois clair, ce n'est rien."<sup>(3)</sup>

\*  
\* \*

Les pages qui suivent décrivent une tentative de formalisation de la notion de contraste, qui sera utilisée comme principe d'organisation formelle. Cette expérience a donné lieu à la réalisation de trois œuvres musicales. Les deux premières ont été déduites assez directement des idées exposés ici : *Contra mortem* (cycle à contraste maximal, pour clarinette seule) et *Le talon d'Achille* (chemin à contraste maximal, pour flûte seule). La troisième pièce basée sur les mêmes principes, *Les portes du sombre Dis* (cycle pour bande magnétique), est construite de manière trop complexe pour être décrite dans le cadre limité de cet article.

L'un des aspects fondamentaux de la musique tient dans le fait qu'elle est, du point de vue des musiciens, une construction dont la plupart des matériaux sont *ordonnés* : ce sont les *caractéristiques* musicales, ou sonores, sur lesquelles agissent le compositeur et les interprètes, le premier dans une démarche organisatrice, les seconds dans la réalisation effective et la production physique des sonorités. Les hauteurs, les intensités et les durées peuvent être, au moins, même en l'absence de toute unité de mesure objective, classées relativement, par comparaisons entre elles, c'est-à-dire : ordonnées. On peut concevoir des caractéristiques plus complexes, définies sur des ensembles de sons, comme la densité dans le temps, le décompte d'itérations et de répétitions, le coefficient d'occupation, etc. ; toutes peuvent être ordonnées ou quantifiées, analytiquement ou statistiquement. Notre musique occidentale repose sur cette qualité d'ordre des caractéristiques sonores qu'elle met en jeu. La composition musicale consiste en l'exploitation de ces caractéristiques et de leur ordre<sup>(4)</sup>.

Le timbre, cependant, échappe à cette relation d'ordre : on dit généralement qu'il s'agit d'un phénomène qualitatif. Cela signifie que nous n'arrivons pas, en ce domaine, à quantifier d'une manière évidente, à ordonner. Il est illusoire, en définitive, de rechercher pour le timbre un isomorphisme simple avec un ensemble de nombres, tandis que de telles bijections s'imposent naturellement pour les autres caractéristiques. Cette particularité fait que toute tentative de traitement systématique et global du timbre doit avoir recours à des conventions, éventuellement plus ou moins illustratives ou symboliques, en l'absence de définitions quantitatives viables. Certains sous-ensembles, ou sous-caractéristiques du timbre peuvent, cependant, être ordonnés — par exemple : l'amplitude d'une composante particulière, ou encore le degré de corrélation entre les périodes successives d'une onde, etc. Mais, inévitablement, toute caractéristique mal définie, ambiguë, c'est-à-dire recelant finalement des processus multi-dimensionnels, ne saurait être ordonnée simplement.

Remarquons aussi que l'ordre des hauteurs ne se présente pas toujours de la façon la plus simple dans la pratique musicale : l'usage de degrés distincts, ou *notes*, considérés jusqu'à un certain point comme équivalents d'octave en octave, réaménage l'ordre simple qui est possible

lorsque la hauteur est réduite à la fréquence. Après tout, il est peut-être plus pratique et fructueux de considérer l'ensemble des hauteurs comme une échelle discrète, aux degrés privilégiés, baptisés de noms familiers, plutôt que comme une droite lisse, pure et dure... En tous cas, il va de soi, alors, que l'ensemble des degrés, et celui des octaves les englobant, sont tout de même ordonnés.

Au-delà des analyses chronologiques que représentent la mesure et la comparaison des durées des phénomènes sonores, nous constatons aussi que les sons se succèdent et forment un déroulement ordonné, et que chacun, pris individuellement, évolue acoustiquement dans un *sens* donné. La dimension organique de la musique, le temps, tel que le conçoit notre civilisation, et à notre échelle ordinaire, obéit à un cours constant, ne laissant aucune ambiguïté quant à l'ordre des événements qu'il porte, et constitue aussi un ensemble ordonné, comme les autres que nous venons de constater, à cette différence près que nos vies y sont inscrites, que nous "faisons partie du voyage", et transcendons notre condition animale pour nous en rendre compte.

Mais la musique obéit-elle à une direction chronologique déterminée? Elle est justement le pouvoir de *jouer* du temps. Ainsi, une musique évoluant unidirectionnellement, d'une situation initiale vers une situation terminale, par une sorte de déduction univoque, s'inscrit tout simplement dans le temps qui nous emporte. Mais des constructions musicales plus complexes, affirmant des relations diverses entre l'ordre et le désordre, les matériaux de base et leurs transformations, tantôt suivant le temps, tantôt le remontant dans la mémoire de l'auditeur, nous donnent, à des degrés divers, l'illusion de contrôler la fuite du temps, et nous permettent d'expérimenter d'autres relations que celle de la simple succession rectiligne. Mais cette volonté musicale de structurer le temps de façon complexe reposera toujours sur un premier postulat : il existe un déroulement uniforme du temps, et la musique utilisera cette continuité ordonnée comme support.

Pour nous, tous ces ensembles ordonnés sont *bornés* : chacun, de par une limite quelconque de nos sens ou de notre existence, possède une borne inférieure et supérieure. La faible résolution de nos perceptions nous impose en outre, bien que nous fassions l'hypothèse qu'ils sont continus, de les considérer souvent comme discrets, au moins à titre de matériaux de travail. En pratique, le musicien travaille donc sur des ensembles ordonnés finis, ou, tout au moins, bornés.

Entre tout couple d'éléments de tels ensembles, on peut mesurer une distance : l'intervalle qui les sépare. On pourrait décrire une musique comme la succession de distances parcourues dans des ensembles de valeurs allouées à chaque caractéristique musicale pertinente. Dans un ensemble fini de  $n$  éléments, il existe

$$\binom{n}{2} = \frac{n!}{2!(n-2)!} = \frac{n^2 - n}{2}$$

intervalles possibles, qui ne sont pas nécessairement tous différents, dont rien ne nous oblige à faire un usage exhaustif, ou dont certains peuvent être volontairement privilégiés.

Lorsqu'on aborde un ensemble ordonné fini — l'ensemble des entiers de 1 à 10, par exemple — avec le parti pris d'y parcourir la plus grande distance possible, on constate qu'on n'a

guère de choix, et qu'il n'existe, bien entendu, qu'une seule distance maximale. Dans notre exemple :

1 ↔ 10 .

Notre seule liberté serait de réitérer cet intervalle un plus ou moins grand nombre de fois.

Dans une construction, l'observance d'un tel principe de *contraste maximal*, impose cette règle : n'utiliser que les deux extrêmes des échelles de valeur. Peut-on accepter cette limitation dans un contexte musical? C'est un défi exaltant, qui nous ferait tracer la voie à l'évolution d'un système qui ne connaîtrait que des extrêmes, basculant brusquement de contraste en contraste.

Pour établir cette construction, il s'agit d'abord de définir, au moyen des valeurs extrêmes d'un certain nombre de caractéristiques, un ensemble de phases à travers lesquelles évoluera la musique que nous projetons, en adoptant comme principe d'exploiter au maximum les possibilités de contraste offertes. Nous appelons *phase*<sup>(5)</sup> une section d'une pièce, ou une unité constituante de sa forme, englobant un ensemble de sons —à la limite : un seul son, ou même un silence— conformes à une même valeur générale de chacune des caractéristiques de définition de la phase. Un tel regroupement peut, bien sûr, être envisagé à n'importe quel niveau hiérarchique d'une organisation complexe ; l'important étant seulement que les éléments constituants de la phase relèvent tous des mêmes valeurs générales de toutes leurs caractéristiques communes. Une phase se distingue donc d'une autre par une ou plusieurs différence(s) dans les valeurs de ces caractéristiques, ou, lorsqu'elles seraient enchaînées chronologiquement, par un ou plusieurs changement(s) de valeur(s).

Dans un premier temps (*Contra mortem*), on peut considérer, par exemple, les deux caractéristiques suivantes, avec allocation à chacune de deux valeurs possibles :

- (a) le *registre*, pouvant être *aigu* ou *grave*, et
- (b) l'*intensité*, pouvant être *forte* ou *faible*.

Sur cette base, quatre phases peuvent être assemblées, définissant des ensembles de sons

*aigus et forts,*  
*graves et forts,*  
*aigus et faibles, ou*  
*graves et faibles.*

Avec  $n$  caractéristiques nécessaires et suffisantes pour la définition des phases, et en allouant deux valeurs privilégiées par caractéristique, extrêmes et contrastantes, on peut former

$$N = 2^n$$

phases différentes lorsque toutes les caractéristiques sont indépendantes. Représentons ces  $N$  phases par  $N$  vecteurs binaires de  $n$  bits, où les "1" et les "0" symbolisent respectivement l'une des deux valeurs prises par les caractéristiques : maximale ou minimale. On peut définir une mesure du *contraste*  $\mathbf{K}$  entre deux phases  $P_i$  et  $P_j$ , telle que  $\mathbf{K}(P_i, P_j)$  soit égal au nombre de "1" contenus dans le résultat de l'opération  $P_i \oplus P_j$ , effectuée bit par bit —  $\oplus$  est un "OU exclusif" : réunion disjonctive. Par exemple :

$\mathbf{K}(0110, 0101) = 2$ , d'après l'opération suivante :

$$\begin{array}{rcccc} \downarrow & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \downarrow \oplus & 0 & 1 & 0 & 1 \\ \hline & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

$\mathbf{K}$  correspond ainsi au nombre de changements de valeurs des caractéristiques entre  $P_i$  et  $P_j$  — passages de "0" à "1" ou vice-versa, passages d'un extrême à l'autre. Pour  $n$  caractéristiques,  $\mathbf{K}$  sera nécessairement entre 1 et  $n$  ( $1 \leq \mathbf{K} \leq n$ ) entre deux phases différentes quelconques.

Les phases, et les contrastes qui les séparent, peuvent être représentés par un graphe non-orienté (symétrique) complet de  $N$  sommets ( $P_1, P_2, \dots, P_N$ ) et

$$\frac{N^2 - N}{2}$$

arêtes. Réaliser un enchaînement des phases, sans répétitions, équivaut à établir dans ce graphe un circuit de longueur  $N$ , sans sous-circuit(s), comprenant donc tous les sommets<sup>(6)</sup>.

Nous désirons que ce circuit exploite au maximum les possibilités de contraste offertes par le graphe ; nous cherchons à donner la plus grande valeur possible à la somme  $\mathbf{K}_s$  de tous les contrastes encourus entre les phases successives deux à deux :

$$\mathbf{K}_s = \sum_{k=1}^N \mathbf{K}_k,$$

où  $\mathbf{K}_k$  est donc le contraste mesuré entre deux sommets contigus du circuit.

La recherche d'un tel circuit de contraste total maximal est, vu toutefois sous un angle proprement anti-économique, un problème typique de gestion administrative, dont la théorie des

graphes permet des solutions mettant en évidence un ensemble de circuits hamiltoniens de contraste maximal  $\mathbf{K}_{\max}^{(7)}$ . Une réalisation consisterait, par exemple, à choisir une phase de départ  $P_d$ , et à suivre un circuit optimal, dans un sens ou dans l'autre puisque de graphe n'est pas orienté, sur un chemin d'une longueur de  $N-1$  arêtes, en terminant sur  $P_t$ , le dernier sommet du circuit avant retour au point de départ  $P_d$ .

La somme des contrastes articulés par ce chemin sera

$$\mathbf{K}_T = \mathbf{K}_{\max} - \mathbf{K}(P_t, P_d).$$

Si l'on désire conserver à  $\mathbf{K}_T$  une valeur maximale, il importe de choisir  $P_d$  de manière à ce que le contraste non parcouru,  $\mathbf{K}_p = \mathbf{K}(P_t, P_d)$ , soit le moins important possible. Toutefois, une grande part de l'importance de ce  $\mathbf{K}_p$  sera conservée, du fait que les phases  $P_d$  et  $P_t$  seront, à cause leur position stratégique, au début et à la fin du chemin parcouru, presque aussi nettement reliées que si elles se succédaient effectivement dans l'enchaînement. On peut donc admettre que  $\mathbf{K}_p$  est en partie conservé :

$$\mathbf{K}_T \approx \mathbf{K}_{\max}.$$

Ces principes ont ensuite été mis en œuvre de façon plus générale dans *Le talon d'Achille*. Pour  $n$  caractéristiques, dont chacune peut prendre  $m_i$  valeurs, on peut former

$$N \leq m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n$$

phases, selon le degré d'indépendance des caractéristiques entre elles. On peut définir la distance, ou le contraste, intervenant entre deux phases  $P_i$  et  $P_j$  comme étant la somme des valeurs absolues des termes du vecteur  $D = P_i - P_j$ . Par exemple<sup>(8)</sup> :

$$\begin{aligned} \text{pour } P_i &= ( 1 \quad 2 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 11.1 ) \\ \text{et } P_j &= ( 0.5 \quad 2 \quad 0.7 \quad 1 \quad 1 \quad 8 ) \\ D = P_i - P_j &= ( 0.5 \quad 0 \quad -0.7 \quad -1 \quad -1 \quad 3.1 ) ; \end{aligned}$$

si

$$\mathbf{K}(P_i, P_j) = \sum_{k=1}^n |d_k|, \text{ où } d_k \in D,$$

c'est-à-dire

$$\mathbf{K}(P_i, P_j) = \sum_{k=1}^n |P_{i_k} - P_{j_k}| = 6.3.$$

En normalisant, ou, au contraire, en différenciant les échelles de valeurs allouées aux différentes caractéristiques, on a la possibilité de doser la pondération relative de chacune dans l'évaluation du contraste global entre deux phases.

Mais  $\mathbf{K}(P_i, P_j)$  est une fonction, que nous pourrions définir de façon plus complexe, par exemple en multipliant chaque  $d_k$  par un terme  $c_k$  d'un vecteur de pondération C — soit constant, soit fonction lui-même. Ainsi :

$$\mathbf{K}(P_i, P_j) = \sum_{k=1}^n \left| \frac{d_k}{c_k} \right| \quad , \text{ où } d_k \in D = P_i - P_j ,$$

$$\text{et } c_k \in C = P_h - P_i ,$$

avec précaution que  $c_k \neq 0$ , et où  $P_h$  serait la phase précédant  $P_i$  dans un chemin donné. Alors  $\mathbf{K}(P_i, P_j)$  dépendrait de la position de la succession  $P_i \rightarrow P_j$  à la suite de  $P_h \rightarrow P_i$  dans un parcours orienté particulier du graphe : les valeurs des composantes du contraste entre  $P_h$  et  $P_i$  affecteraient la mesure de celui constaté ensuite entre  $P_i$  et  $P_j$ , et donc, suivant certaines règles définies, l'opportunité de la succession

$$\dots P_h \rightarrow P_i \rightarrow P_j \dots$$

\*  
\* \*

En résumé, la démarche envisagée ici consiste à rassembler un certain nombre de caractéristiques ordonnées, avec les valeurs privilégiées desquelles on définit un ensemble de phases possibles, à travers lesquelles on fera évoluer l'œuvre au cours de son déroulement. On établit ensuite le graphe des successions possibles entre ces phases, puis on mesure les contrastes impliqués par ces successions. On procède, enfin, au choix d'un enchaînement particulier, en sélectionnant un chemin ou un circuit dans le graphe, en fonction d'un agencement déterminé des contrastes.

Cette démarche propose une approche de deux problèmes compositionnels fondamentaux: (1°) quelles sont les phases à travers lesquelles évoluera la musique, et (2°) quelle en sera la succession chronologique. Ces questions, de *définition* d'objets distincts et de leur *agencement*, sont le nœud crucial de toute composition. Composer, en effet, c'est cela même : introduire divers niveaux de cohérence ; effectuer des choix dans un domaine brut, relativement amorphe et riche d'un excès de possibilités ; disposer les éléments choisis dans des espaces orientés, c'est-à-dire, plus généralement, établir des correspondances entre divers ensembles de caractéristiques. Ces correspondances doivent être établies entre ensembles de même niveau hiérarchique (par exemple : entre les phases elles-mêmes et les durées qu'on leur attribue), puis de niveaux inférieurs à supérieurs (par exemple : entre les phases dotées de durées et un ensemble de points successifs ordonnés dans le temps). Le processus illustré ici passe par le choix des



caractéristiques à traiter, par la mesure et le choix de valeurs ou d'intervalles privilégiés, d'abord à l'intérieur des ensembles ordonnés des valeurs attribuées aux caractéristiques, puis entre les phases constituées par assemblage, et enfin par l'agencement de correspondances d'ensembles à ensembles, permettant d'obtenir une description suffisante du déroulement musical. L'indépendance des caractéristiques entre elles, la projection en un graphe complet, la limitation aux valeurs extrêmes, et la règle de contraste maximal, qui ont été envisagés ci-dessus, constituent des cas particuliers, et pourraient être remplacés par d'autres options.

On demeure entièrement libre de la définition des phases, c'est-à-dire du choix des caractéristiques pertinentes, et, pour chacune d'elles, de l'allocation d'un nombre quelconque de valeurs privilégiées permettant leur assemblage, avec ou sans liens d'interdépendance, de la projection en un graphe quelconque, et enfin de définir un mode de parcours à l'intérieur de celui-ci. Bien entendu, ce faisant, on pose certaines hypothèses quant à la *pondération* relative des différentes caractéristiques dans l'articulation des contrastes entre les phases. Il est évident que, d'un point de vue perceptif, leur importance ne sera pas toujours égale, et que de la supposer telle constitue très certainement une simplification. Cependant, leur pondération soulève des problèmes psychoacoustiques complexes —et serait, de toute façon, relative à un contexte musical de référence. A toutes fins pratiques, cette pondération peut tout aussi bien relever de critères subjectifs.

On se trouve toujours en face de problèmes de *choix*, qui sont le fondement, l'essence même de toute activité créatrice. En plus d'être lui-même la conséquence d'options fondamentales, inconscientes ou logiques, etc., tout système, toute *formalisation* n'a pour but que de clarifier les circonstances des choix, leurs raisons, effets, justifications et conséquences, afin d'apporter des techniques plus ou moins élaborées pour la recherche de solutions servant une fin.

## NOTES

- (1) Klee, P. (1977) : *Théorie de l'art moderne* (P.-H. Gonthier, éd. et trad.), Paris, Gonthier, pp. 54-60.
- (2) "Plutôt que de viser quelque objet extrinsèque, la musique se présente comme *un langage qui se signifie soi-même*" [Jakobson, in Nattiez, J.-J. (1975) : *Fondements d'une sémiologie de la musique*, Paris, Union générale d'éditions, p. 212]. En fait, cette considération peut être aujourd'hui vérifiée pour l'ensemble des arts ; mais elle a sans doute toujours été plus essentielle à la musique, dès son origine.
- (3) Bosco, H. (1979) : *L'antiquaire*, Paris, Gallimard, p. 336.
- (4) Je songe, bien entendu, à la structure de *groupe additif abélien* des hauteurs et des durées, exploitée en occident depuis la plus haute antiquité.
- (5) Au sens, défini par René Thom, de "régimes locaux relativement homogènes" [Thom, R. (1974) : *Modèles mathématiques de la morphogénèse*, Paris, Union générale d'éditions, p. 139].
- (6) Kaufman, A. (1968) : *Des points et des flèches... la théorie des graphes*, Paris, Dunod, pp. 14-18.
- (7) Bartoli, J.-A. & Trémolières, R. (1975) : *The Force Method for the Traveling Salesman Problem*, Aix en Provence, Institut d'administration des entreprises, Université de droit, d'économie et des sciences.
- (8) Il s'agit d'une *distance de Hamming*.