

**Complexité et compétences**

**Un itinéraire théorique en Éducation  
Physique**

Didier Delignières

2009

Éditions Revue EP.S

## Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<u>3</u>
<b>1. Perspectives épistémologiques</b> .....	<u>6</u>
Qu'est-ce qu'un concept ? .....	<u>6</u>
La publication scientifique .....	<u>10</u>
Qu'est-ce que la science ? .....	<u>12</u>
Les « expériences de laboratoire » .....	<u>13</u>
Les idéologies scientifiques .....	<u>14</u>
Un bel exemple en STAPS : la « Science de l'Action Motrice » .....	<u>16</u>
<b>2. Les compétences</b> .....	<u>20</u>
Compétences et situations complexes .....	<u>20</u>
La pédagogie des compétences .....	<u>26</u>
Compétences spécifiques ou compétences transversales .....	<u>28</u>
Vers la complexité .....	<u>29</u>
<b>3. De la difficulté à penser la complexité</b> .....	<u>33</u>
La science classique .....	<u>33</u>
Les principes de la pensée complexe .....	<u>35</u>
Complexité et imprévisibilité .....	<u>39</u>
Le piège réductionniste .....	<u>40</u>
<b>4. Complexité et Chaos</b> .....	<u>44</u>
Le Chaos .....	<u>44</u>
La théorie des systèmes dynamiques .....	<u>49</u>
<b>5. Complexité et fractalité</b> .....	<u>56</u>
La géométrie fractale .....	<u>56</u>
La dynamique fractale .....	<u>60</u>
Complexité et dynamique fractale .....	<u>63</u>
Fractalité, complexité et santé .....	<u>70</u>
<b>6. Complexité et compétence</b> .....	<u>73</u>
La compétence comme système complexe .....	<u>73</u>
Différents régimes de fonctionnement .....	<u>73</u>
Les compétences collectives .....	<u>75</u>
Décrire les compétences .....	<u>76</u>
Agir dans l'incertitude .....	<u>77</u>
Compétence, complexité et citoyenneté .....	<u>79</u>
<b>7. Enseigner des compétences</b> .....	<u>80</u>
Apprentissage et complexité .....	<u>80</u>
Une éducation fractale .....	<u>83</u>
L'évaluation des compétences .....	<u>85</u>
<b>Conclusion</b> .....	<u>88</u>
Participer au renouvellement paradigmatique .....	<u>88</u>
Éviter le compliqué, exploiter le complexe .....	<u>89</u>
Une théorisation ouverte .....	<u>89</u>
<b>Bibliographie</b> .....	<u>90</u>

## Introduction

Cet ouvrage s'inscrit dans la continuité de mes réflexions précédentes sur l'Éducation Physique (voir notamment Delignières, 2004, Delignières & Garsault, 1993, 1996, 1999, 2004). Il sera notamment question d'un concept sur lequel nous avons déjà longtemps réfléchi : les compétences. On sait que ce concept est devenu au fil des ans une des pierres angulaires du discours pédagogique, dans l'ensemble du système scolaire et en Éducation Physique en particulier. On l'a souvent critiqué sur la base de ses origines douteuses (c'est la psychologie du travail qui la première en a forgé les contours théoriques), et aussi sur son caractère nomade : un concept traversant ainsi de multiples champs peut-il encore conserver une quelconque puissance dans un domaine particulier ?

Le concept de compétence a pour principal inconvénient de paraître évident au premier abord. Chacun peut spontanément énoncer sa propre définition, sa propre conception, et ainsi « compétence » ne fait que se substituer à d'autres termes préalablement employés (savoir, savoir-faire, habileté, capacité, etc.). Le sens commun parvient aisément à phagocytter un concept nouveau, pour peu que son pouvoir d'évocation puisse capter quelques significations passées. C'est justement le problème qu'a rencontré le concept de compétence dans le système éducatif.

Je suis pourtant persuadé que le concept de compétence porte en germe des ouvertures révolutionnaires dans le domaine de l'éducation. C'est-à-dire qu'une fois compris, intégré, et opérationnalisé dans la pratique, il doit logiquement déboucher sur de nouvelles manières de faire, de concevoir l'utilité de l'École et la formation des enseignants. Cet ouvrage est essentiellement motivé par la crainte de voir ce concept banalisé, emprisonné dans des représentations qui lui feraient perdre cette capacité au renouvellement. Mon objectif est d'aller encore plus loin dans sa définition et son analyse, en convoquant des lignes argumentaires jusqu'alors négligées.

Cet exercice sera aussi l'occasion d'un retour réflexif sur l'ensemble de mon activité de production de connaissance. À côté de la réflexion que j'ai pu mener depuis plusieurs années sur l'Éducation Physique, ses finalités et ses contenus, j'ai poursuivi une activité de recherche, qui a porté sur des thèmes tels que l'estime de soi, l'apprentissage moteur ou le contrôle des activités rythmiques. Ces recherches, même si elles ont porté sur des objets différents, partagent un fond théorique commun : les théories de la complexité, la théorie des systèmes dynamiques, la théorie du Chaos. On m'a souvent questionné sur la dualité de cette démarche : peut-on raisonnablement concilier une démarche scientifique de laboratoire et une réflexion portant sur une pratique d'intervention telle que l'Éducation Physique ? Je tiens à ce niveau à lever une ambiguïté première : les travaux scientifiques que je mène depuis une vingtaine d'année possèdent leur propre justification : ils ont toujours visé à développer, et valider des modèles

théoriques. Leur but n'a jamais été d'alimenter une réflexion sur l'Éducation Physique, ou de proposer des solutions concrètes pour l'intervention.

Bien sûr, mes articles et ouvrages sur l'Éducation Physique ont été souvent émaillés de résultats et d'illustrations extraits de mes travaux de laboratoire. Il ne faudrait pas en conclure que mes réflexions sur l'enseignement sont venues en déduction de mon activité scientifique. Ce qui ne veut pas dire que la science n'a pas à se préoccuper d'application. Il me paraît au contraire essentiel qu'un chercheur, parce que son activité est largement financée par les deniers publics, se pose la question de l'utilité sociale de ses travaux. Mais cette utilité ne se mesure pas uniquement sur le court terme. D'un autre côté, nous savons que les activités humaines sont infiniment complexes. En regard, l'activité scientifique tend naturellement à parcelliser ses objets. En conséquence, il n'est guère envisageable qu'une démarche scientifique puisse un jour épuiser la complexité des activités humaines.

J'ai donc toujours conçu mon activité scientifique et mes réflexions sur l'Éducation Physique comme essentiellement séparées. L'objectif de cet ouvrage est cependant de tenter de jeter quelques ponts entre les deux. Soyons clair : il ne s'agira certainement pas de tomber dans un déductionnisme que je viens par ailleurs de dénoncer. Si je pense pouvoir tisser quelques liens entre mon activité de laboratoire et mes préoccupations concernant l'Éducation Physique, c'est au travers d'un détour métathéorique : je pense que les cadres théoriques qui animent ma réflexion sur mes objets de recherche peuvent également contribuer à éclairer de manière nouvelle les concepts et pratiques de l'enseignement. Les liens s'opèrent à un autre niveau, dans une sphère métathéorique qui détermine de manière fondamentale les objets d'étude, et surtout le regard que l'on porte sur eux. Mon activité de recherche s'inspire clairement des principes de la théorie du Chaos, des approches contemporaines de la complexité, et je pense que mes conceptions, dans le domaine de l'Éducation Physique, ont été profondément marquées par ce cadre théorique. Je voudrais dans ce texte tenter d'éclairer les relations entre les concepts centraux charpentant mon activité scientifique : la complexité, la non-linéarité, les processus fractals, et les axes forts du discours que j'ai pu développer vis-à-vis de l'Éducation Physique, autour des concepts de compétence et de citoyenneté.

J'invite ici le lecteur à un certain nombre de remises en cause, à propos de concepts profondément ancrés dans le domaine de l'Éducation Physique. Je ne choisis pas la voie la plus facile. Il est sans doute plus confortable pour un lecteur de trouver dans un texte des arguments qui confortent ce qu'il a lu par ailleurs, qui confirment un cadre théorique qu'il a l'impression d'avoir lutté pour construire. Disons-le tout net : la manière dont je vais parler de l'Éducation Physique sera tout sauf évidente. J'aurais conscience de bousculer certaines évidences. Je prends le risque de prendre à revers de nombreux lecteurs, et surtout ceux qui le méritent le moins : les étudiants et collègues qui travaillent dur pour préparer les concours de recrutement.

Je pense, suivant en cela Bachelard, que l'évolution théorique du discours scientifique est nécessairement marquée par une démarche vers l'abstraction. Confronté à un problème, à une question inédite, le premier réflexe est de recourir au sens commun : des explications logiques, évidentes, que tout le monde peut comprendre, appréhender sans difficulté. Bachelard récuse a priori le sens commun ou l'opinion commune : « *L'opinion pense mal, elle ne pense pas, elle traduit des besoins en connaissances. En désignant les objets par leur utilité, elle s'interdit de les connaître* » (Bachelard, 1938). La science dans sa démarche d'élaboration du savoir s'oppose absolument à l'opinion commune. Et si parfois ses conclusions semblent conforter le sens commun, il ne faudrait pas y voir une légitimation a posteriori : « *S'il lui arrive, sur un point particulier, de légitimer l'opinion, c'est pour d'autres raisons que celles qui fondent l'opinion, de sorte que l'opinion a, en droit, toujours tort* » (Bachelard, 1938). Il convient donc d'aller toujours chercher au-delà des évidences premières : « *Le réel n'est jamais "ce qu'on pourrait croire", mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser* » (Bachelard, 1938). La

démarche scientifique est donc un difficile processus d'abstraction, d'éloignement vis-à-vis des évidences premières. « *L'objectivité scientifique n'est possible que si l'on a rompu avec l'objet immédiat, si l'on a refusé la séduction du premier choix, si l'on a arrêté et contredit les pensées qui naissent de la première observation* » (Bachelard, 1949).

Qu'on n'imagine pas que le passage du sens commun au savoir scientifique est un processus binaire. Une théorie scientifique est toujours le sens commun d'une autre qui viendra l'invalider. La physique newtonienne, avec la théorie de la gravitation universelle, a ainsi constitué une avancée majeure vers l'abstraction, par rapport à la physique aristotélicienne, plus accessible à l'expérience empirique. Ce qui n'a pas empêché cette théorie d'être supplantée par la relativité d'Einstein et la mécanique quantique, par rapport auxquelles elle ne représentait plus qu'une sorte de sens commun. Tout théoricien doit avoir la modestie de croire que ses propositions, si fondées et sophistiquées qu'elles soient, se heurteront un jour à une théorie concurrente, plus élaborée. Et en définitive, ces théories s'éloigneront de plus en plus du sens commun primitif, au risque d'être de moins en moins compréhensibles pour les utilisateurs potentiels de ces savoirs.

Il y a là un paradoxe dont on n'entrevoit pas de manière évidente la solution. Les praticiens ont besoin de théories. Les théories seront d'autant plus utiles qu'elles se seront éloignées du sens commun. Mais ce faisant elles auront perdu leur intelligibilité. Pour résoudre ce paradoxe, les scientifiques doivent faire un effort de vulgarisation. Mettre à disposition du plus grand nombre leurs théories sans en réduire l'exigence et la complexité. En retour, le praticien doit faire l'effort d'accéder à ces théories qui par essence offrent de plus en plus de résistance. Dans cette course effrénée, mais inéluctable, à la sophistication théorique, nous pensons que le système scolaire et plus largement l'ensemble des organismes de formation ont un rôle régulateur essentiel. Si l'École de Jules Ferry a permis à des générations d'enfants d'accéder aux savoirs scientifiques essentiels qui ont longtemps fondé la culture scolaire, les élèves d'aujourd'hui peuvent accéder à des savoirs autrement plus sophistiqués, suivant en cela la dynamique de la production scientifique.

Cet ouvrage débute par un premier chapitre consacré à quelques problèmes épistémologiques souvent éludés par les théoriciens, qu'ils soient scientifiques ou qu'ils évoluent dans les sphères professionnelles. J'y évoquerai notamment le problème de la validation du savoir, et de la progression des connaissances scientifiques. Un second chapitre tentera de faire le point sur le concept de compétence, et mettra l'accent sur les liens étroits que la compétence tisse avec la complexité. Dans un troisième temps, je développerai ce concept de complexité, notamment au travers des travaux d'Edgar Morin, visant à proposer une manière de penser les phénomènes complexes. Un quatrième chapitre sera consacré aux approches mathématiques de la complexité, et notamment à la théorie du Chaos et à la théorie des systèmes dynamiques. Le cinquième chapitre fera l'état des lieux de la thématique qui anime actuellement mes recherches : les fluctuations fractales des systèmes complexes. L'ensemble de ces contributions théoriques me permettra d'enrichir petit à petit le concept de compétence, et d'en préciser le contour théorique. Enfin je reviendrai sur des préoccupations professionnelles en tentant de cerner la manière dont de telles compétences pourraient être enseignées et évaluées dans le cadre scolaire.

## Chapitre 1

### Perspectives épistémologiques

J'ai évoqué de manière assez superficielle dans l'introduction de ce texte un ensemble de problématiques épistémologiques, qu'il me semble nécessaire d'approfondir avant d'aller plus avant. Puisque j'ai introduit l'idée selon laquelle cet ouvrage viserait à poursuivre la définition et l'étayage du concept de compétence, je reviendrai dans un premier temps sur ce que l'on doit entendre par concept. Comment les concepts sont-ils forgés ? Que représentent-ils dans la progression du savoir scientifique ? Plus largement, j'évoquerai la logique de construction du discours scientifique, dont il est essentiel de comprendre les contraintes pour pouvoir l'apprécier à sa juste mesure. J'analyserai notamment les dérives que peuvent générer les théorisations hâtives, quand on tente de s'affranchir de la rigueur de la démarche scientifique.

#### Qu'est-ce qu'un concept ?

On voit souvent apparaître de nouveaux termes dans les jargons théoriques, qu'ils soient professionnels ou scientifiques. J'utilise ici sciemment le mot « terme », dans l'idée de réserver le vocable « concept » à une toute autre réalité. Un terme nouveau permet souvent de ramasser de manière économique un énoncé fastidieux dans une formulation concentrée. Ainsi Vigarello (1983) note que « parler d'« ethnomotricité » [...] peut avoir une utilité verbale réelle. C'est un raccourci qui évite la périphrase. Mais ce raccourci ne nous apprend rien sur l'imprégnation culturelle de la motricité, laquelle est connue depuis longtemps ». Un concept doit apporter une intelligibilité nouvelle, un supplément de sens à un champ théorique. « *Un concept nouveau, c'est cette idée générale qui donne un sens inédit à un ensemble d'objets ou de faits* » (Vigarello, 1983). Dans ce sens, un concept concentre toujours une théorie, et ne peut être compris indépendamment de ce soubassement. Lorsque les psychologues de l'apprentissage introduisent le concept d'« habileté », c'est pour désigner la capacité, acquise par apprentissage, à produire une réponse efficace et économique dans une tâche spécifique. On est loin ici de l'acception commune, désignant une agilité générale, motrice, cognitive ou relationnelle. Le concept est forgé au sein d'un corpus théorique, comme un point d'ancrage argumentaire sur lequel on pourra appuyer des démonstrations ultérieures.

Ceci suggère donc que le concept ne puisse être compris qu'au travers de la théorie qui en a permis l'émergence. En d'autres termes, le concept n'est intelligible qu'à partir du moment où l'on a fait l'effort de s'approprier la théorie sous-jacente. Ceci est extrêmement important : un concept ne désigne pas quelque chose que l'on pourrait connaître en-dehors de la théorie. Lorsque Claude Allègre se gausse de l'utilisation du concept de « téléocinèse » pour décrire l'envoi d'une balle vers une cible, il oublie (ou plutôt il ignore) que ce concept a été forgé dans

le cadre d'une théorie du contrôle moteur distinguant téléocinèses et morphocinèses, deux catégories de mouvements reposant sur des modalités de contrôle différenciées (Paillard, 1984). Lorsque des spécialistes de l'Éducation Physique utilisent le concept de téléocinèse, c'est qu'ils ont fait l'effort de s'approprier le cadre théorique sous-jacent. On ne peut que regretter que leur ministre, lui-même scientifique de renom, n'ait pas fait le même effort avant de s'avancer imprudemment dans une critique sans fondement.

Ceci devrait alerter les « pourfendeurs de jargon ». Il est facile de mettre de son côté les rieurs en dépliant des exemples d'énoncés abscons, de tournures idiomatiques, si possible en les isolant de leur contexte d'émergence. Mais ce n'est parce que l'on ne comprend pas un concept que celui-ci est nécessairement inutile. Lorsque je ne comprends pas une idée, j'ai tendance à supposer que celui qui l'a émise possède quelques longueurs d'avance dans sa réflexion, et que je dois faire quelque effort pour le rejoindre. Ce qui ne m'empêchera pas une fois le concept élucidé de le dénoncer ou le combattre si je l'estime inutile ou dangereux.

Car tous les termes émaillant le discours théorique n'ont pas la légitimité des concepts scientifiques. Il serait évidemment tentant ici de parler du fameux « référentiel bondissant ». Ce terme a été largement exploité par ceux qui voulaient brocarder le « pédagogisme », l'utilisation de soi-disant « jargons didactiques » dans l'Éducation Nationale. Claude Allègre, dont nous avons déjà parlé, s'est particulièrement illustré dans cet exercice. Disons-le tout net : le « référentiel bondissant » n'existe pas, n'a jamais existé. Ce n'est qu'une fable, une rumeur qui ressurgit périodiquement lorsque que tel politique ou tel journaliste est en mal d'arguments<sup>1</sup>.

Ce qui ne veut pas dire que tous les termes apparaissant en Éducation Physique ne sont pas critiquables. Un travers courant des théorisations hâtives est ce que l'on appelle l'*illusion nomothétique*. Ce terme a été employé pour désigner la croyance que la dénomination d'un problème suffit à le résoudre. Il ne suffit pas par exemple d'annoncer à un patient qu'il souffre d'une dépression pour résoudre les problèmes qui l'ont amené dans cet état. Plus largement, on peut parler d'illusion nomothétique à chaque fois que l'on forge un terme qui n'a d'autre fonction que de dénommer un phénomène sans réellement concourir à l'élucider. Le problème encore une fois n'est pas de forger un terme nouveau, qui peut au moins éviter d'inutiles paraphrases. Ce que l'on peut reprocher à ces termes relevant de l'illusion nomothétique, c'est de sous-entendre une théorie qui n'existe pas, ou qui se révèle erronée.

J'ai par exemple trouvé l'énoncé suivant sur un site consacré aux sports de raquette<sup>2</sup>. Des collègues tentent de lister les compétences devant être acquises au terme de dix séances de pratique. Entre autres, on voit apparaître ceci : « *l'élève doit être capable de reculer pour frapper...plus fort et de se replacer plus vite (construction de l'espace arrière)* ». J'ai aussi trouvé ce terme dans des projets pédagogiques relatifs à la gymnastique, ou il s'agissait également, dans l'apprentissage d'habiletés telles que le flip-flap ou de salto arrière, de « construire l'espace arrière ». On comprend intuitivement sans trop de problème ce que ces termes désignent. Au badminton, dans le cours du jeu, le joueur doit pouvoir réagir à toutes les trajectoires de volant, y compris celles qui aboutiront dans le fond du court. Mais qu'est-ce réellement que l'espace arrière ? En gymnastique, certaines habiletés demandent de se projeter vers l'arrière, sans trop de points de repères. En quoi cela répond-il à quelque chose qui ait à être « construit » au cours de l'apprentissage ? Pourrait-on aller jusqu'à dire que l'ensemble des tâches où le sujet est amené à se déplacer vers l'arrière pour agir pourraient collaborer à la construction d'une « compétence transversale » que l'on appellerait « gestion de l'espace arrière », et qui serait construite progressivement au cours de ces diverses expériences ? Les

---

<sup>1</sup> On pourra sur ce sujet consulter un texte de Luc Cédelle, disponible à l'adresse suivante :

<http://education.blog.lemonde.fr/category/referentiel-bondissant/>

<sup>2</sup> [http://eps.ac-rouen.fr/pedagogie/projets/colleges/projets\\_apsacollege/Badminton1.htm](http://eps.ac-rouen.fr/pedagogie/projets/colleges/projets_apsacollege/Badminton1.htm)

travaux scientifiques sur l'apprentissage suggèrent à l'inverse que les habiletés sont extrêmement spécifiques, et participent peu à la construction de telles capacités transversales. Néanmoins de tels énoncés (« construction de l'espace arrière ») peuvent finir par légitimer une procédure pédagogique.

Un autre exemple intéressant est le terme de « point d'appui dynamique », développé notamment par Thévenin (1975) dans le cadre de l'analyse technique de la gymnastique. Ce terme a connu un succès certain, et a été enseigné à des générations d'étudiants préparant les concours d'enseignant d'Éducation Physique. Le principe du point d'appui dynamique peut être illustré à partir de la figure suivante, montrant les étapes essentielles de la bascule progression à l'appui aux barres parallèles<sup>3</sup>

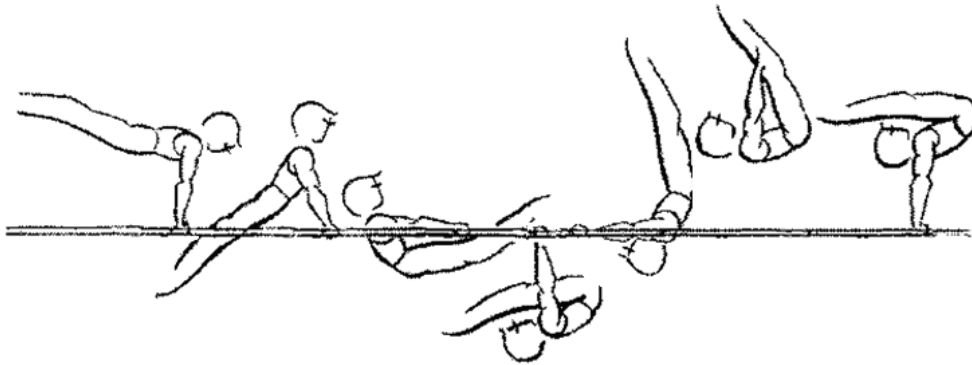


Figure 1 : La bascule progression à l'appui aux barres parallèles

Comme on peut le voir, le gymnaste prend de l'élan en passant en suspension mi-renversée sous les barres. Puis par un mouvement d'extension du corps, il projette ses membres inférieurs vers le haut. Il lâche ensuite la barre, et ses jambes vont lui servir de « point d'appui dynamique » pour redresser le tronc et assurer la position finale. Le principe ici illustré a été exploité pour expliquer de nombreux aspects de la technique gymnique (« temps de bascule », « amorcés », « sur-fouettés », voir Thévenin, 1975). L'auteur propose une analyse mécanique cohérente de ce principe : « une partie du corps [...] se munit d'un potentiel énergétique spécifique (isolé) ; ce dernier est transmis à la totalité du corps par solidarisation de cette partie avec le reste du corps (blocage) » (Thévenin, 1975). Cette interprétation reste sujette à discussion : il est difficile de considérer de manière isolée un segment corporel, c'est en fait l'ensemble du corps qui se déforme lors de l'impulsion, et l'analyse serait sans doute plus pertinente si elle portait sur l'évolution de la trajectoire du centre de gravité ou sur la quantité globale de mouvement. Dans l'exemple illustré par la figure 1, le gymnaste ne prend pas « appui » sur ses membres inférieurs : il ne fait qu'exploiter la trajectoire parabolique du centre de gravité, qui a été créée par le passage en suspension mi-renversée et par l'extension du corps. Le terme « point d'appui dynamique » rend surtout compte d'une illusion d'optique, particulièrement saillante dans cet exemple, selon laquelle les membres inférieurs semblent s'immobiliser dans l'espace, donnant une base d'appui à la mobilisation du reste du corps.

A ce niveau, il est important de noter que des théorisations un peu hâtives n'empêchent pas nécessairement l'action pratique. Le fait de croire que la terre était un disque plat n'a pas empêché les navigateurs de l'antiquité de se lancer sur les océans. Il faudra cependant admettre que la terre est sphérique pour qu'un tour du monde prenne son sens. De même, on a pu continuer à vivre au cours du 20<sup>ème</sup> siècle en se préoccupant peu des théories nouvelles d'Einstein sur la relativité du temps. Les derniers systèmes de localisation par satellite ont

<sup>3</sup> Cette figure a été réalisée à partir d'une image gif disponible à l'adresse suivante : <http://membres.lycos.fr/technigym/images/anim/basprog.gif>

cependant dû intégrer les principes de la relativité pour fonctionner convenablement. Si un concept hasardeux peut supporter un certain nombre d'actions ou d'interventions (souvent d'ailleurs en les légitimant a posteriori), on peut craindre cependant qu'il bloque l'innovation et l'évolution ultérieures.

Un autre danger est l'importation de concepts issus d'autres champs disciplinaires. On peut évoquer notamment les concepts de « règles d'action », ou de « principes d'action » (ou encore « règles et principes opérationnels »), qui ont largement dominé le discours de l'Éducation Physique dans les années 90 (Gréhaigne, Billard, Guillon, et Roche, 1989, Pineau, 1992). Je ne reviendrai pas ici sur l'histoire chaotique de ces concepts, qui ont mis quelques années à se stabiliser avant de disparaître brutalement lors de l'écriture définitive des programmes de collège de 96. On pourra trouver dans le lexique que nous avons fait paraître à l'époque le détail de l'évolution de chacun de ces concepts (Delignières et Duret, 1995). Disons que d'une manière générale principes et règles « *définissent les conditions à respecter et les éléments à prendre en compte pour que l'action soit efficace* » (Gréhaigne et al., 1989). Il s'agit d'énoncés conscients, participant à la planification, la sélection, l'exécution et l'explicitation de l'action. Les règles sont définies comme spécifiques à une tâche donnée, les principes renvoient de manière plus générale à une classe de tâche ou à une activité donnée. La mise en avant de ces concepts a eu pour conséquence un recours important des enseignants (du moins était-ce ainsi affiché dans leurs projets, préparations de séances, ou articles professionnels), aux pratiques de verbalisation, explicitation ou autres « débats d'idée » (voir par exemple Deriaz, Poussin, et Gréhaigne, 1998).

Ces concepts ont été importés de champs divers, tels que la psychologie cognitive (Anderson, 1983), la didactique (Vergnaud, 1985) ou la recherche opérationnelle (Cullman, 1989). D'une manière générale, les chercheurs qui ont forgé ces théories et concepts s'intéressaient à des situations dans lesquelles l'intervention des processus cognitifs de haut niveau était prépondérante. Dans ce cadre, le recours à des règles et principes rationnels, clairement représentés dans la conscience des sujets, permettant de piloter de manière délibérée les actions et décisions semblait justifié. Mais dans le domaine de l'Éducation Physique, il s'agit avant tout de comportement moteur, dans des situations chargées d'affectivité. Et justement l'ensemble des chercheurs, dans ce domaine particulier, tendait simultanément à minorer l'importance de ces processus cognitifs de haut-niveau dans le contrôle moteur. Ces réserves sont venues tant des spécialistes de l'approche cognitiviste, montrant que majoritairement le contrôle moteur renvoyait à un ensemble de processus automatiques, que des tenants des approches dynamiques et écologique récusant la nécessité d'un contrôle cognitif élaboré (pour une présentation plus complète de ces réserves, voir Delignières, 1991, et Delignières, 2008, chapitre IX). Il était assez surprenant qu'à heure où les chercheurs spécialistes du contrôle moteur relativisaient majoritairement l'importance du contrôle cognitif conscient, les théoriciens de l'Éducation Physique introduisent des concepts supposant une gestion rationnelle et délibérée de la motricité.

On le voit, l'introduction d'un nouveau concept n'est pas une entreprise facile. Un concept doit être porté par une théorie, et cette théorie doit posséder une pertinence réelle vis-à-vis de l'objet dont il est question. La faillite de certaines entreprises conceptuelle vient soit d'une vacuité théorique, soit de l'inadéquation des théories revendiquées.

Par rapport à l'ensemble de ces considérations, que peut-on dire du concept de compétence ? Ce que je souhaiterais pointer ici, c'est que le mot « compétence » ne constitue pas une simple périphrase, un raccourci utile parce que peu contraignant, que chacun pourra incorporer à peu de frais dans ses systèmes de pensée habituels. Il représente un authentique concept, fruit d'une élaboration théorique solide, et porteur de développements futurs conséquents. C'est ce dont cet ouvrage veut convaincre le lecteur.

Avant de poursuivre l'approfondissement théorique de ce concept, il me semble important de revenir rapidement sur la logique de construction du savoir scientifique. Souvent la science est vue par les praticiens comme une affaire d'initiés, incompréhensible pour le commun des mortels, et souvent arbitraire dans ses verdicts de légitimité. Dans quelle mesure des scientifiques peuvent-ils affirmer qu'un concept est valide, qu'une théorie est pertinente ? En d'autres termes, qu'est-ce qu'un savoir scientifique ?

### **La publication scientifique**

La science moderne est fondée sur le principe de l'expertise par les pairs, et ce principe est avant tout mis en œuvre au travers de la publication des articles scientifiques. Il est sans doute important ici de donner quelques précisions sur ces termes. Qu'est-ce qu'une publication ? Qu'est-ce qui fait qu'un article va être qualifié de scientifique et un autre pas ?

Les revues scientifiques n'ont pas toutes la même valeur. Certaines sont très exigeantes, ne publiant que des articles de haut niveau, soigneusement sélectionnés, d'autres sont moins sélectives. On mesure couramment l'importance d'une revue scientifique au travers de son *facteur d'impact*. Cet index est calculé chaque année et pour chaque revue par un organisme international (l'*Institute for Scientific Information*). Le calcul du facteur d'impact repose sur une analyse des citations. Chaque article scientifique fait référence à d'autres articles publiés antérieurement, qu'il utilise pour étayer son argumentation. Lorsqu'un article est fréquemment cité par d'autres articles, on peut dire qu'il a un impact sur la littérature scientifique (a contrario, certains articles ne sont jamais cités, tendant à suggérer que seul l'auteur s'intéressait réellement à son contenu...). Le facteur d'impact ne porte pas sur un article précis, mais sur la revue qui l'a publié. Ce facteur est défini par le nombre de citations dont ont bénéficié en moyenne les articles publiés dans la revue dans les deux années suivant leur publication. On conçoit que le facteur d'impact est un indice de la « popularité » d'une revue : les articles publiés sont lus, appréciés, et volontiers cités en retour. Plutôt que popularité, il vaudrait mieux dire « considération ».

Des revues prestigieuses comme *Nature* ou *Science* ont des facteurs d'impact autour de 30. Il s'agit de revues généralistes, abondamment diffusées et lues, et très sélectives. Les journaux spécialisés présentent généralement des facteurs d'impacts plus « modestes » : par exemple parmi les journaux s'intéressant à la motricité *Experimental Brain Research* est pour l'année 2006 à 1.96, le *Journal of Motor behavior* à 1.45 *Human Movement Science* à 1.29, et *Perceptual and Motor Skills* à 0.33.

Les journaux indexés à l'ISI ont pour principal objectif de maintenir leur facteur d'impact et de le faire progresser. Pour cela, les éditeurs doivent sélectionner des articles irréprochables, et intéressants pour leur lectorat (donc des articles qui seront volontiers cités en retour). Ces revues sélectionnent les articles sur la base d'une expertise, le plus souvent anonyme, réalisée par des chercheurs indépendants (c'est-à-dire n'ayant pas d'intérêts communs avec les auteurs de l'article expertisé). Il est du devoir de l'éditeur de respecter ce principe lorsqu'il contacte des experts pour analyser un manuscrit. Le plus souvent, cette analyse critique est réalisée par deux ou trois experts. Il faut savoir que cette activité d'expertise est bénévole. L'ensemble des chercheurs y contribue, considérant qu'elle constitue un maillon essentiel de la production scientifique.

Un article n'est accepté qu'à partir du moment où l'ensemble des experts sollicités a donné son accord. Cet accord peut nécessiter plusieurs navettes, au cours desquelles les experts et l'éditeur adressent aux auteurs des recommandations diverses. Mais l'entrée dans ce processus de navette requiert qu'à la première lecture, les experts jugent que l'article représente un projet de publication viable. Souvent l'aventure s'arrête dès le premier tour, et l'article est tout bonnement rejeté par la revue. On conçoit donc que ce système débouche sur une sévère

sélectivité de la part des revues à fort facteur d'impact. Une revue telle que le *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, avec un facteur d'impact de 2.261, affiche en 2005 un taux de rejet de l'ordre de 76%. C'est-à-dire que seuls 24% des articles soumis sont en définitive acceptés. On peut imaginer les taux de rejet de revues telles que *Nature* ou *Science*.

Toutes les revues ne sont pas indexées à l'ISI. Il existe aussi un certain nombre de revues dites « à comité de lecture », qui bien que mettant en place une procédure d'expertise similaire à celle que nous avons présentée ne bénéficient pas du label ISI. C'est le cas notamment pour *STAPS* ou *Science et Motricité*, deux revues de langue française qui ont joué un rôle important dans la structuration de la recherche francophone dans les sciences du sport. Il faut dire que la plupart des revues indexées sont de langue anglaise, visant un lectorat international. Ceci pénalise sévèrement les journaux publiant dans d'autres langues, et notamment en français. Pour avoir été successivement éditeur dans ces deux revues, je peux affirmer que la procédure d'expertise y est rigoureuse, et demande souvent aux auteurs un travail acharné de réécriture pour que les articles soient acceptés. Cependant, ces revues jouent également un rôle militant, visant surtout à permettre à de jeunes doctorants de publier leur premier article de thèse. De ce fait, le taux de rejet de ces revues, de l'ordre de 30 %, les rend beaucoup plus accessibles.

Enfin certaines revues ne possèdent pas de comité de lecture. Au mieux un comité éditorial accepte de publier tel ou tel article, pour remplir les colonnes ou boucler tel numéro thématique. C'est le cas notamment des revues professionnelles, telles que les revues *EPS* ou *HYPHER*. Il n'est pas ici question de critiquer ces revues, qui jouent un rôle essentiel dans la vulgarisation et la diffusion des connaissances. Mais on ne peut considérer qu'un article publié dans ces revues constitue une contribution validée au savoir scientifique.

La hiérarchisation des revues scientifiques par le biais du calcul des facteurs d'impact est devenue un outil essentiel pour l'évaluation des chercheurs et des laboratoires. Lorsqu'un chercheur candidate pour un poste universitaire, lorsqu'il dépose un projet de recherche pour obtenir un financement, sa liste de publications est passée au crible des facteurs d'impact. Lorsqu'un laboratoire demande sa reconnaissance officielle au ministère chargé de la recherche, c'est aussi le bilan des publications de ses membres qui constitue un des critères essentiels. Un slogan résume assez bien le problème : *publish or perish* (publier ou mourir).

On conçoit dès lors que ce système de cotation laisse peu de chercheurs indifférents, et de nombreuses critiques ont été émises à l'encontre de cette évaluation basée sur les facteurs d'impact. On peut déjà noter que l'impact d'une revue dépend évidemment de l'ampleur de son lectorat. On juge ainsi plus l'efficacité avec laquelle une revue se met en scène et assure sa visibilité, que la réelle qualité des articles qu'elle publie. Par ailleurs, l'étendue du lectorat est évidemment liée à la nature de la discipline scientifique. Par exemple la revue la plus cotée en mathématique a un facteur d'impact de 2.55 en 2006, alors que dans le domaine des neurosciences la meilleure revue affiche 28.53. Plus une discipline compte de chercheurs et de revues, plus le facteur d'impact de ces revues a de chances d'être élevé. Il est donc difficile de comparer d'une discipline à l'autre les « performances » des chercheurs. Par ailleurs il est clair qu'il existe d'une discipline à l'autre des cultures de publication complètement différentes. Si les sciences de la vie ne jurent que par les articles dans les revues internationales indexées, en sciences sociales on a tendance à valoriser les monographies et ouvrages.

On peut ajouter aussi que chez certains chercheurs, la course à la liste de publications débouche sur des comportements pour le moins douteux, visant davantage à étoffer quantitativement le palmarès des publications qu'à réaliser des travaux innovants et scientifiquement intéressants. On voit ainsi certains publier dans un laps de temps assez court la même idée dans plusieurs journaux. On a vu aussi certains articles quasiment répliqués à

l'identique, chaque nouvelle version n'amenant que des modifications minimales dans un plan d'expérience. Certains auteurs aussi découpent les résultats d'un travail unique afin d'assurer à peu de frais la publication de plusieurs articles. Mais rassurons le lecteur : tout ceci se sait et personne dans la communauté n'est réellement dupe de ces pratiques.

On peut reprocher beaucoup à l'évaluation quantitative des publications scientifiques, mais ce système est sans doute le moins mauvais et a l'avantage d'exister. Il a permis de rompre avec l'arbitraire et l'esbroufe, lorsqu'il suffisait de l'auto-proclamer, avec suffisamment d'assurance, scientifique de renom pour que les portes s'ouvrent et que les postes se libèrent. Malgré tous les défauts dont nous venons de parler, les injustices potentielles que charrie ce système, les stratégies perverses qu'il peut générer, il n'en demeure pas moins qu'un chercheur qui publie dans ces revues indexées a pris le risque de se confronter à la critique anonyme de ses pairs, et ce à l'échelle de la communauté internationale. C'est un parcours difficile, pavé de désillusions et de difficultés. Il est plus facile de publier dans la revue de son laboratoire ou de son université que d'aller à l'assaut de revues internationales sélectives. Mais tous ceux qui ont tenté l'aventure savent aussi que c'est extrêmement formateur : on comprend vite que le facteur d'impact des revues que l'on vise est aussi une invite à élever son propre niveau d'exigence. C'est en tentant de grosses revues que l'on écrit ses meilleurs articles<sup>4</sup>. Ceux qui critiquent le système des facteurs d'impact sont souvent ceux qui ont refusé de s'y confronter. Parfois pour des raisons tout à fait louables, souvent pour des motifs moins nobles, dont l'évitement, la peur d'échouer, de remettre en cause une image et un statut.

### **Qu'est-ce que la science ?**

Ces considérations nous amènent à une question brûlante : qu'est-ce que la science ? A partir de quel moment peut-on se targuer de cette suffisance, de cette assurance qui permet de se définir comme scientifique, rejetant par ailleurs d'autres et leurs productions dans la « non-science », l'idéologie, le dogme ?

Karl Popper, un épistémologue britannique, a développé à ce sujet une thèse assez rigoureuse. Le point de départ de son raisonnement est la dénonciation de la représentation inductiviste de la constitution du savoir scientifique. On suppose en effet couramment que c'est sur la base d'observations diverses que les chercheurs proposent des lois scientifiques. On estime alors que par l'accumulation d'expériences et de données, la loi scientifique s'imposera de manière évidente et nécessaire. Dans l'imaginaire commun, on voit volontiers le chercheur (on dit d'ailleurs plutôt le « savant »), comme un professeur Nimbus furetant ça et là, notant au fil des jours ses doctes observations, et énonçant au terme de cette quête silencieuse une théorie générale du monde qui nous entoure. Popper (1959) va sévèrement attaquer la logique de cette conception inductiviste.

En premier lieu, cette conception suppose que l'observation peut exister indépendamment de l'existence d'une théorie, puisqu'historiquement elle en précède l'élaboration. Or il semble clair que l'observation est nécessairement guidée par une théorie sous-jacente. L'observation est nécessairement sélective : on n'observe pas tout ou n'importe quoi, mais certains indicateurs sont privilégiés en fonction de présupposés théoriques. Dans ce sens, dès que l'on aborde une situation, on a toujours une certaine idée de la manière dont on pourrait se la représenter : on s'en donne un modèle. L'observation devient alors un moyen de vérifier la pertinence de ce modèle.

---

<sup>4</sup> Chacun pourra ici proposer ses contre-exemples : des articles insipides publiés dans des revues renommées, ou des articles remarquables parus dans des feuilles de choux. Dans ce dernier cas on se demande quand même si l'auteur avait saisi a priori le caractère remarquable de son manuscrit.

Par ailleurs, la science est sous-déterminée : c'est-à-dire qu'étant donné un nombre fini d'observations empiriques, il existe un nombre infini de théories susceptibles d'en rendre compte. Ceci veut dire que des résultats empiriques n'obligent aucunement à se représenter le monde de telle ou telle façon. Poser une loi ou un modèle scientifique, ce n'est donc pas le résultat inévitable d'une multiplicité de constatations, mais une sorte de coup de force par lequel on décide de voir les choses d'une certaine façon.

Selon Popper, une théorie (surtout globale comme la psychanalyse ou le marxisme), peut facilement solliciter les faits et donc apparaître comme « vérifiée ». La vérification n'est donc pas un bon critère de scientificité car un système clos bien organisé peut toujours être confirmé. Popper rejette le postulat positiviste selon lequel l'accumulation d'observations permet d'établir la vérité d'une assertion.

Pour être scientifique, une hypothèse doit être testable, c'est-à-dire qu'elle doit permettre des expériences pouvant éventuellement conduire à son rejet. Dans ce sens, une connaissance scientifique est essentiellement réfutable. Un discours est scientifique dans la mesure où il est éventuellement possible de déterminer une situation où le modèle pourrait ne pas fonctionner. Les procédures de validation du savoir doivent toujours permettre, dans l'absolu, de réfuter une hypothèse, ou de démontrer une hypothèse inverse. Popper émet ici un paradoxe pour le sens commun : une connaissance irréfutable (c'est-à-dire que l'on n'a pas les moyens de réfuter) n'est par définition pas scientifique : c'est par exemple le cas de la croyance religieuse, ou des superstitions diverses. Une connaissance scientifique est une proposition qui *jusqu'à présent* a résisté à toutes les tentatives de réfutation.

L'activité du chercheur est d'explorer les limites des théories qu'il utilise. Lorsque la théorie, attaquée par le chercheur, n'est plus capable de rendre compte des résultats expérimentaux, le chercheur devra proposer une théorie alternative susceptible de rendre compte tant des résultats anciens que de ceux qui ont mis à mal la précédente. La recherche scientifique, dans cette perspective, est donc une tentative permanente de réfutation ou de falsification des théories actuelles. La science se construit plus ou moins selon un processus darwinien où par essai et erreur les théories les plus adaptées survivent. Une thèse scientifique n'est jamais absolument fondée, mais préférée à d'autres.

### **Les « expériences de laboratoire »**

Ces réflexions m'amènent à évoquer la démarche expérimentale, qui est souvent décriée par ceux qui observent de l'extérieur l'activité des chercheurs. A quoi peuvent servir ces expérimentations de laboratoire, qui n'ont rien à voir avec les situations de la vie réelle ? Les travaux réalisés ces dernières années sur le contrôle moteur ont massivement eu recours soit à des tâches de temps de réaction (le sujet devant répondre le plus vite possible à l'apparition d'un signal), ou des tâches de coordination bimanuelle (les sujets devant mobiliser leurs deux index de manière synchrone). Le sens commun invite à questionner ces épures et à douter de leurs rapports avec la motricité complexe, et notamment celle des terrains de sport. Qu'est-ce que la coordination des index peut nous apprendre de la manière dont un gymnaste se rétablit sur des barres parallèles ?

C'est oublier que le scientifique ne fait pas ses expériences pour répondre aux questions que se pose le public. Comme on l'a dit plus haut, une expérience a pour but de tester une théorie, d'en vérifier la robustesse. Les chercheurs utilisent les tâches qui sont susceptibles d'assurer à ces tests la plus grande rigueur, en évitant que les résultats ne soient entachés d'erreur et d'incertitude. C'est pourquoi les tâches sont souvent simples et standardisées.

Quand Fitts en 1954 étudie sa tâche de pointage réciproque entre deux cibles, il ne s'intéresse pas à la motricité de la main. Il vise à tester la pertinence de l'application de la

théorie de l'information à l'analyse de la motricité, en étudiant la relation entre la quantité moyenne d'information contenue dans les tâches et la performance moyenne des sujets. Parce qu'il démontre que la seconde est proportionnelle à la première, il conforte la théorie et ouvre la porte au développement des théories cognitivistes. Cette expérience ne nous a rien appris de la manière dont on tient un stylo (c'est pourtant ce que faisaient objectivement les sujets) ; par contre, elle a permis un renouvellement complet de la manière dont on concevait à l'époque le contrôle moteur. De même, les études sur la coordination des index ne nous ont en effet pas appris grand-chose sur la manière dont un gymnaste se rétablit sur des barres parallèles. Elles ont cependant permis de valider un réseau d'hypothèses qui ont elles aussi permis un renouvellement des conceptions relatives au contrôle moteur<sup>5</sup>. Quand on tente de comprendre l'intérêt d'un travail expérimental, il importe de garder à l'esprit que c'est une théorie que l'on teste, et pas les conditions dans lesquelles cette théorie est testée.

Enfin on a compris que dans la démarche poppérienne, l'expérimentation est construite pour tester la théorie. Le chercheur s'il a bien fait son travail doit être capable de prédire le résultat qu'il observera si la théorie est juste, et aussi celui qu'il relèvera dans le cas contraire. On ne fait pas une expérimentation « pour voir », ou « parce que cela n'a jamais été fait ». Personne n'a jamais testé l'effet de la couleur des chaussettes sur la précision du tir en basket. Ce n'est pas pour autant qu'il faille le faire (j'espère ne pas avoir ici suscité de vocations). Tout simplement parce que cela ne servirait à rien, aucune théorie ne pouvant (du moins à ma connaissance) prédire un tel effet, et donc ne pourrait être falsifiée par la découverte du contraire. Cet exemple caricatural renvoie cependant à une réalité courante, reconnaissons-le. Même si dans l'idéal la recherche devrait toujours être pilotée par la théorie, c'est parfois le matériel disponible dans les laboratoires qui dicte les programmes expérimentaux (il faut bien montrer que l'argent investi dans les plateaux techniques n'a pas été dépensé pour rien).

### **Les idéologies scientifiques**

Ces réflexions sur les dérives possibles de la réflexion théorique et scientifique m'amènent à évoquer un concept épistémologique important, forgé par Georges Canguilhem, dans un remarquable essai intitulé « *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie* » (1977). Il s'agit du concept d'« idéologie scientifique » que Canguilhem utilise pour qualifier un état d'avancée du discours théorique, et une étape essentielle du développement scientifique.

Le concept d'idéologie est si souvent disqualifié dans la pensée courante qu'il mérite qu'on s'y attarde un peu. On qualifie souvent de la sorte un système de pensée global (c'est-à-dire ayant un spectre explicatif très large), et clos (un tel système n'admet que peu la discussion ou la critique). Ainsi l'idéologie est pensée comme une doctrine, un dogme auquel on adhère par une sorte de croyance aveugle. Les religions sont ainsi souvent qualifiées de systèmes idéologiques (ce qui cadre bien avec le côté dogmatique), mais aussi les systèmes de pensée politiques (idéologies libérale ou socialiste). Dans ce cadre, le système auquel on s'oppose est toujours idéologique, alors que celui dans lequel on se reconnaît toujours ouvert et démocratique...

Pour les épistémologues, l'idéologie est une théorie qui s'oppose à la philosophie sur le terrain de la production des normes et des valeurs, c'est-à-dire la détermination du désirable et de l'interdit, du bien et du mal. On s'accorde généralement à admettre que si la philosophie ambitionne de produire un discours atemporel et universel, l'idéologie renvoie à un système de pensée situé et daté, c'est-à-dire propre à un lieu, un groupe, et une époque donnée (Sournia,

---

<sup>5</sup> Pour l'anecdote, nous avons montré quelques années plus tard que les phénomènes de coordination observés lors d'un rétablissement aux barres parallèles étaient semblables à ceux relevés lors des coordinations bimanuelles (Delignières et al., 1998).

1982). Distinction intéressante, mais qui n'épuise pas la richesse et l'intérêt du concept. Le marxisme va lui donner une force nouvelle, le définissant comme système théorique, donnant l'illusion d'être détaché de l'infrastructure, mais jouant un rôle mystificateur, camouflant et justifiant la domination de classe. Il faut comprendre l'infrastructure comme les conditions matérielles de vie et de production. L'idéologie appartient quant à elle à la superstructure, l'idéal, le monde des idées. L'exemple le plus illustratif est celui de la religion, expliquant que le véritable monde n'est pas ici-bas, et que chacun méritera son salut en acceptant le sort qui lui a été dévolu. On conçoit que dans les crispations sociales de la fin de 19<sup>ème</sup> siècle, la religion ait pu jouer ce rôle mystificateur, masquant la réalité des inégalités sociales. Canguilhem propose une jolie définition, proche de cette conception marxiste : « *L'idéologie se donne pour l'expression de ce que sont les choses, alors qu'elle n'est que le moyen de protection et de défense d'une situation, d'un système de rapports des hommes entre eux ou des hommes aux choses* ». L'idéologie mystifie ses récepteurs, pour protéger son émetteur.

Le concept d'« idéologie scientifique », tel que défini par Canguilhem, a un contour extrêmement précis. L'auteur identifie ainsi des systèmes théoriques qui ont émaillé l'histoire des disciplines scientifiques, et qui en ont été parfois à l'origine. Il est important de noter que pour Canguilhem, l'idéologie scientifique n'est pas « contre » la science. Ce n'est pas une anti-science, comme a pu l'être la religion vis-à-vis des théories évolutionnistes par exemple. Par contre c'est une non-science : un discours qui fait « comme si », qui tente de présenter tous les atours de la science, sans en avoir les assises. Canguilhem met ici en avant une opposition délicate entre science authentique et science inauthentique. La science authentique serait celle qui aurait accepté de se plier à une discipline communautaire dans la production du savoir. On a évoqué plus haut les exigences de l'expertise par les pairs pour les publications scientifiques, ou la rigueur de la démarche expérimentale, dans une perspective poppérienne. Il nous semble que malgré leurs défauts, et peut être l'impossibilité de les généraliser à l'ensemble des démarches scientifiques, ce type d'exigence participe à l'établissement d'une sorte de *dignité* du chercheur. Et une théorie atteint le statut de science lorsque collectivement les chercheurs qui l'ont élaborée ont respecté une Charte commune. Englués dans cette revendication de dignité, les scientifiques avancent souvent à pas lents.

Ce qui caractérise les idéologies scientifiques, c'est au contraire une sorte d'urgence dans la production du savoir. Comme s'il fallait au plus vite occuper le terrain. Canguilhem parle de théorisations d'aspect scientifique, pressées « *d'anticiper, sous l'effet d'exigences d'ordre pratique, l'avènement de la recherche* ». Il est bien des raisons qui peuvent ainsi pousser un individu ou un groupe d'individus à s'instaurer les têtes de proue d'une nouvelle science : appât du gain, volonté de servir l'intérêt commun, volonté de combattre les disciplines scientifiques instituées. Ce qui est important et qui semble traverser toutes les idéologies scientifiques, c'est cette urgence du faire qui balaye rapidement toute précaution dans la production du savoir et sa mise à disposition de la communauté. On assiste le plus souvent à une revendication effrénée de scientificité : il s'agit d'être reconnu comme science, le plus vite possible. Les tenants des idéologies scientifiques vont dès lors s'attacher à se parer de tous les attributs jugés nécessaires : décrocher des postes universitaires, publier ouvrages et articles, instaurer une terminologie propre et un discours original, fonder des sociétés savantes. Mais à publier dans l'urgence, les auteurs en viennent le plus souvent à se réfugier dans des ouvrages à compte d'auteur, ou des revues ne présentant pas de procédures de sélection trop difficiles. Au pire, ils créent leurs propres revues, autoproclamées scientifiques, dans lesquelles ils publient leurs propres articles. Ils communiquent dans des colloques qu'ils ont eux-mêmes organisés, dont on peut imaginer l'indulgence des comités de sélection.

A terme, cette stratégie peut faire illusion, et l'idéologie scientifique, comme les autres idéologies, mystifie bien son public. Canguilhem (1977) l'évoque comme une « *croyance qui*

*louche du côté d'une science déjà instituée, dont elle reconnaît le prestige et dont elle cherche à imiter le style* ». Comme il a été dit précédemment, l'idéologie scientifique fait « comme si », et certains finissent par y croire.

Il ne faudrait pas conclure cependant que les idéologies scientifiques ne sont que des aventures théoriques inutiles et superfétatoires. L'idéologie scientifique apparaît comme un moment épistémologique nécessaire de l'évolution des sciences : Canguilhem met ici en avant le fait que la science n'est pas que le fruit d'un progrès intellectuel et méthodologique, mais aussi le produit historique d'un contexte institutionnel et politique. L'idéologie occupe le terrain, provisoirement, mais finit par disparaître « *quand le lieu qu'elle occupait dans l'encyclopédie du savoir se trouve investi par une discipline qui fait la preuve, opérativement, de la validité de ses normes de scientificité* » (Canguilhem, 1977). Une science inauthentique, ou idéologie scientifique, n'usurpe que temporairement le terrain d'une science authentique.

Les idéologies scientifiques possèdent ainsi un destin singulier. Tout en faisant obstacle aux sciences authentiques, elles préparent leur propre perte en contribuant à identifier le lieu où va se déployer une nouvelle science. Elles apparaissent de la sorte comme un moment essentiel de l'histoire des sciences, une étape fondatrice dans leur développement. Canguilhem conserve un regard bienveillant sur ces systèmes de pensée, y voyant des percées prématurées de la quête scientifique, une sorte « *d'antériorité de l'aventure intellectuelle* » (Canguilhem, 1977).

### **Un bel exemple en STAPS : la « Science de l'Action Motrice »**

Nous connaissons dans notre domaine un bel exemple d'idéologie scientifique, un cas d'école qui pourrait épuiser des générations d'étudiants en épistémologie : il s'agit de la « Science de l'Action Motrice », menée aux fonds baptismaux par Pierre Parlebas dans les années 70, et poursuivie par quelques fidèles (voir notamment Bordes, Collard et Dugas, 2007).

Nous l'avons évoqué précédemment, un indice particulièrement intéressant est la propension des idéologies scientifiques à imposer leur jargon spécifique, par la production de lexiques, dictionnaires. Généralement la production de tels documents, dans un domaine scientifique donné, vient au terme d'un long processus de gestation, après que de nombreux articles et ouvrages aient peu à peu cristallisé un ensemble de concepts. On éprouve alors le besoin de poser un consensus autour de définitions approuvées par tous. Les idéologies scientifiques, trop pressées d'étayer leur légitimité, construisent leur champ lexical en amont. On ne peut éviter ici de faire référence à la « *Contribution à un lexique commenté en Science de l'Action Motrice* », publié par Parlebas en 1981. On y voit défini un ensemble de termes, «action motrice», «algorithme moteur», «communication praxique», «contrat ludique», «ergomotricité», «fonction sémiotrice», «gestème», «ludomotricité», «métamotricité», «praxème», «proxémique», «quasi-sport», ou encore «sémiotricité». Il n'est pas ici question de réfuter l'intérêt de cette terminologie. Toute démarche scientifique a besoin de théories et de concepts originaux. J'ai moi-même contribué voici quelques années à un lexique thématique compilant les concepts principaux des diverses disciplines constituant les STAPS (Delignières et Duret, 1995). Les sciences, petit à petit, cisèlent un corpus de concepts clairement définis, permettant une communication efficace entre chercheurs et évitant des paraphrases superflues. C'est une démarche essentielle, et si certains y voient la constitution de jargons incompréhensibles, c'est au contraire à une clarification du discours qu'invite cet effort terminologique. Mais dans la démarche scientifique, les concepts naissent progressivement, au fur et à mesure de l'avancée des travaux. Ils se cristallisent peu à peu, au fil de discussions et controverses au sein de la communauté des chercheurs. Les concepts apparaissent a posteriori, dans l'élaboration progressive du corpus théorique. Ce qui caractérise les idéologies scientifiques, c'est justement la production a priori du cadre terminologique. Comme si pour « faire scientifique », l'enrobage terminologique était jugé plus important que l'humble rigueur

de la démonstration. Le lexique tient alors plus du bréviaire, édictant le dogme terminologique, que d'un outil légitimé par l'avancée de la recherche.

Un autre indice particulièrement intéressant est le rapport des idéologies à la publication et la communication scientifiques. Nous avons évoqué précédemment la nécessité, pour tout chercheur, de se plier à la rigueur de la démarche de publication, avec son cortège de difficultés, de frustrations, et souvent sa lenteur excessive. Les idéologies scientifiques, trop pressées encore une fois d'asseoir leur légitimité, ont tendance à contourner cette démarche ardue, mais essentielle. Si l'on consulte par exemple la bibliographie de l'ouvrage récent de Bordes et al. (2007), on se rend compte qu'aucun de ces auteurs n'a publié d'article dans des revues internationales indexées. Leurs contributions théoriques sont constituées d'ouvrages (publiés par ailleurs dans des maisons d'édition tout à fait estimables, mais dont la rigueur d'expertise ne peut égaler celle des revues scientifiques), d'articles dans des revues professionnelles (telles que les revues *EPS*, *Hyper*, ou la revue des CEMEA « *Vers l'Education Nouvelle* »), ou encore des actes de colloques de Praxéologie Motrice (que l'on peut supposer favorables à leurs thèses).

Tout ceci donne l'impression d'une certaine désinvolture, face à l'exigence d'administration de la preuve. Ainsi Dugas et During (2007) appuient un de leurs arguments par cette note particulièrement étonnante : « *En 2007, à une heure de grande écoute, une émission télévisée rassembla d'éminents spécialistes des neurosciences (sur le thème du « cerveau »). Au cours de l'émission, ils évoquèrent une forme, parmi d'autres, d'intelligence, l'intelligence sportive* ». Dans un article scientifique, il est hors de question de fonder une argumentation sur autre chose que sur des articles déjà publiés dans des revues indexées. Cette exigence apparaît dans toutes les recommandations aux auteurs, et constitue un élément majeur de l'argumentation scientifique. Une discussion à bâtons rompus, fusse entre éminents spécialistes, ne saurait être retenue comme argument décisif. Même si elle a eu lieu à « une heure de grande écoute »...

On peut noter également un souci exacerbé de reconnaissance, moins de la part de la communauté scientifique que de celle du public (dans ce cas précis des enseignants d'Éducation Physique et des étudiants en STAPS). On peut être en effet surpris de voir dans l'ouvrage de Bordes et al. (2007) un chapitre consacré à une enquête révélant que la science de l'action motrice est « plébiscitée » par les étudiants. J'ai personnellement beaucoup de mal à croire que la pertinence scientifique est liée au succès rencontré auprès des étudiants. Je pense que si l'on demande à des architectes s'ils « préfèrent » la géométrie euclidienne ou la géométrie de Riemann, leur préférence ira sans conteste à la première, qui permet notamment au travers du théorème de Pythagore de résoudre la plupart des problèmes pratiques incluant des angles droits. La seconde, reposant sur des postulats moins intuitifs, peut sans doute se révéler moins « utile » dans l'immédiat. Ce qui ne lui ôte pas son caractère scientifique. De même, la mécanique newtonienne pourra être « préférée » par des ingénieurs ayant à résoudre des problèmes pratiques se déroulant dans notre environnement terrestre et à des vitesses raisonnables. Ce qui n'a pas empêché heureusement les physiciens de faire de nombreux progrès par la suite, avec notamment la théorie de la relativité et la physique quantique. On a l'impression que dans le cadre des idéologies scientifiques, l'objectif est moins de convaincre que de séduire.

Une autre caractéristique commune aux idéologies scientifiques est un sentiment tenace de persécution. Ainsi Bordes et al. (2007) se plaignent d'avoir été rejetés par le comité scientifique de tel ou tel colloque, ou d'avoir subi des échecs pour des articles soumis dans telle ou telle revue. Je sais par expérience que les idées nouvelles se heurtent souvent à des résistances lors de leur émergence. Mais je suis également persuadé qu'une approche théorique

innovante, apportant un sens nouveau, parvient toujours à faire sa place au soleil à condition de se satisfaire aux canons académiques.

Il y a diverses manières de réagir dans ce cas de figure. La plus mauvaise consiste à fonder sa propre revue, que l'on autoproclamera « scientifique », et dont on contrôlera étroitement la politique éditoriale. Les publications relèvent alors d'un processus d'autocongratulation assez misérable, dont on a connu certains exemples dans le passé. La plus raisonnable consiste à tenter de placer ses travaux dans des revues indépendantes, en visant en premier lieu des objectifs modestes (c'est-à-dire des revues à facteur d'impact modéré), puis à élever progressivement le niveau d'exigence. C'est un processus long et difficile, mais la qualité de la démarche scientifique est à ce prix.

Enfin les tenants de cette approche se livrent à une attaque en règle de ce qu'ils conçoivent comme des « théories concurrentes ». Ainsi Bordes et al. (2007), entament leur ouvrage par une critique acerbe de la théorie des systèmes dynamiques (l'auteur de ces lignes essuie au passage quelques flèches malignes), et de l'action située. On se demande d'ailleurs pourquoi l'approche cognitive, qui avait dû subir la vindicte de Pierre Parlebas dans les années 80, n'est plus jugée aussi « dangereuse »... Notons qu'il y a une certaine malhonnêteté à baser la critique d'une théorie sur quelques documents de vulgarisation. Peut-on imaginer une critique de la sociologie de Bourdieu fondée sur une interview donnée à la revue EPS ? Un travail sérieux aurait dû se référer aux articles originaux (qui ont cependant le défaut d'être en anglais). C'est au mieux de la paresse, au pire de la malhonnêteté.

En ce qui concerne l'approche dynamique, Bordes et al. (2007) lui reprochent avant tout de ne pas apporter de réponse satisfaisante à une question qu'ils jugent essentielle : la place des processus mentaux dans le pilotage de l'action motrice. Il convient ici de rappeler une évidence : une théorie ne peut répondre qu'aux questions qu'elle pose. On peut critiquer une théorie sur la pertinence des questions posées, ou sur celle des réponses qu'elle produit. Certainement pas sur les réponses qu'elle aurait pu produire sur des questions qu'elle n'a jamais envisagé de se poser. L'approche dynamique des coordinations (c'est la dénomination exacte du courant dont il est question) se pose le problème de l'émergence des patterns moteurs, sur la base d'un réseau d'hypothèses issu de la théorie des systèmes dynamiques. On ne peut lui demander de répondre à des questions relatives aux représentations, ou aux émotions. Elle peut parfois incorporer ces dimensions dans son approche (voir par exemple Deschamps et al., 2000), mais en soi elles ne peuvent constituer le cœur des préoccupations. Mais par ailleurs la théorie des systèmes dynamiques n'a pas été appliquée qu'aux coordinations. On peut notamment trouver des travaux appliquant ses principes à la cognition (Beltz et Kello, 2006 ; Van Orden, Holden, et Turvey, 2003), à la prise de décision (Araújo, Davids, et Hristovski, 2006), ou au fonctionnement des groupes (Massaro, 1999).

Une catégorie d'arguments un peu moins reluisants consiste à déconsidérer les travaux des chercheurs sur un registre vaguement populiste. Ainsi nos collègues Temprado et Montagne se voient reprocher une démonstration ayant nécessité quelques subtilités mathématiques : « *Toutes ces équations (vingt-cinq au total ! Parler « matheux » fait d'emblée plus sérieux) ...* » (Bordes, Collard et Dugas, 2007, p. 21-22). Cette manière de mettre de son côté les rieurs est assez misérable. Si nos collègues praxéologues sont rétifs à l'abstraction mathématique, c'est leur problème mais pas nécessairement celui de leurs lecteurs. Les mathématiques sont un outil puissant et j'en ai largement usé dans mes propres travaux. Mais le problème n'est pas là : les méthodes d'administration de la preuve sont multiples et diverses, et les STAPS concentrent toute l'étendue de cette diversité. Il n'est pas rare, dans une de nos revues pluridisciplinaires, de voir cohabiter des articles basés sur une approche expérimentale avec un autre reposant sur les entretiens semi-directifs, de l'analyse factorielle ou des dosages sanguins, de l'analyse de contenu ou des modélisations mathématiques. Nous sommes les uns et les autres spécialistes

d'un champ, et un peu plus éloignés des autres et de leurs méthodes. Nous devrions tous avoir appris au moins la tolérance vis-à-vis des démarches que nous comprenons moins bien. Personnellement lorsque je croise en tant qu'éditeur de revue un article dont la démarche, les concepts, ou les méthodes me sont étrangers, mon premier réflexe n'est certainement pas de me dire que n'y comprenant rien, ce manuscrit est nécessairement mauvais. J'ai même tendance à l'inverse à considérer que si une argumentation me paraît difficile à suivre, si le passage d'une équation à l'autre ne me semble pas si évident, c'est plus à cause de mes propres limites que d'une éventuelle faiblesse du manuscrit. J'ai la sagesse dans ce cas de faire confiance à des experts plus aguerris.

Une autre critique un peu limite concerne cette fois l'action située, et notamment l'arsenal terminologique développé dans ce domaine : « *Que vaut encore la surenchère de notions que nous assène le cours d'action : représentamen original, représentamen interprétatif, interprétant acquis, signe exécutoire, signe informatore, cohérence séquentielle, sérielle, synchronique large ou étroite, délimitant méta- ou infra délimitant* » (Bordes et al., 2007, p. 28) ? Encore une fois le coup est petit. Ce n'est pas parce que l'on ne comprend pas la subtilité d'un concept que celui-ci est inutile pour ceux qui l'ont forgé. Quand on connaît la fertilité terminologique de la Science de l'Action Motrice (nous avons évoqué précédemment le « Lexique Commenté » de 1981), on se dit que nos collègues auraient pu avoir un peu de retenue sur ce coup-là.

Le lecteur s'attend sans doute, à ce stade de l'argumentation, à ce que je me livre à une attaque en règle contre les travaux de ces collègues. La réponse du berger à la bergère, en quelque sorte. Ce ne sera pas le cas. J'estime que ces travaux présentent un intérêt indéniable, et adoptent un point de vue tout à fait original sur l'activité motrice. J'ai déjà eu l'occasion de leur exprimer cette reconnaissance, en les invitant à présenter leurs travaux dans des colloques dont j'étais responsable, ou dans les colonnes de *Science et Motricité* (même si ce projet n'a pu aboutir). Cette démarche théorique possède toutes les potentialités requises pour développer un corpus essentiel de connaissances, dès lors que les collègues qui s'y engagent se seront donnés les moyens d'imposer dans la littérature scientifique leur point de vue. La praxéologie motrice a sa place dans le champ des STAPS, non pas comme LA Science des Activités Physiques et Sportive, mais comme une des disciplines composant le spectre de ce champ essentiellement pluridisciplinaire.

\*\*\*

Ces réflexions épistémologiques me semblent représenter un préambule salutaire, avant de lancer la réflexion sur le thème central de cet ouvrage. Elles suggèrent qu'en matière de réflexion théorique (en ne limitant pas la théorie à la science académique), la dignité du savoir repose sur un certain nombre de précautions premières. A vouloir réfléchir trop vite et imposer ses vues de manière trop hâtive, on prend le risque de mettre en avant des théories à courte vue, séduisantes pour le sens commun mais sans pertinence profonde. J'ai tenté dans les pages qui suivent d'éviter ce travers.

## Chapitre 2

### Les compétences

Nous avons déjà consacré un certain nombre de publications à définir le concept de compétence (Delignières et Garsault, 1993, 1998, 2004). Nous avons développé une acception assez précise de ce concept, souvent en décalage avec celles avancées par d'autres auteurs dans le champ de l'Éducation Physique, voire même avec les programmes de la discipline (notamment la définition exploitée dans les programmes de 1996). Notre approche n'est cependant pas isolée : elle s'inscrit dans le prolongement des travaux d'un certain nombre d'auteurs dans le domaine de la psychologie du travail (De Montmollin, 1984), et surtout elle trouve de nombreux points de convergence avec les réflexions de collègues travaillant dans le domaine des Sciences de l'Éducation qui ont récemment réfléchi sur ce qu'il convient d'appeler la pédagogie des compétences (Reboul, 1980 ; Perrenoud, 1997, 1999 ; Le Boterf, 1994 , 1999 ; Rey, 1996).

Je l'ai déjà dit par ailleurs, le concept de compétence me semble proprement révolutionnaire pour l'Éducation Physique. On a pu par le passé introduire de nombreuses innovations dans la discipline, sans pour autant en modifier sa nature, ses objectifs, ses manières de faire. Par contre, entrer dans une pédagogie des compétences me semble agir sur des leviers tellement profonds qu'on ne peut plus ensuite penser, analyser et faire l'Éducation Physique de la même manière qu'avant. Il ne s'agit pas que d'un outil, un mot qui pourrait habiller commodément d'anciennes pratiques. La pédagogie des compétences appelle une refondation de l'éducation, et de l'Éducation Physique en particulier. Je m'adresse ici aux enseignants : vous avez je pense dû intégrer dans vos projets pédagogiques la notion de compétence. Soit parce que vous avez remarqué que les programmes de la discipline y font tous référence, soit sous la pression de vos inspecteurs pédagogiques. Si l'introduction de cette notion n'a en rien modifié vos pratiques d'enseignement, c'est sans doute que vous n'avez fait qu'habiller du terme « compétence » ce que vous appeliez antérieurement « habileté » ou « connaissance ». Si réellement vous avez pris la mesure de ce concept de compétence, votre manière de penser votre discipline, ses objectifs, son utilité sociale, et au-delà votre représentation de votre métier et la satisfaction que vous pouvez en tirer ont dû être profondément modifiées. Si ce n'est pas le cas, si vous avez l'impression que parler de compétences, ce n'est que modifier superficiellement le discours de l'Éducation Physique, prenez le temps de lire en profondeur cette partie.

#### **Compétences et situations complexes**

La compétence est définie par la capacité de maîtriser l'ensemble des situations survenant dans l'exercice d'un métier. Si nous évoquons ici le terme de métier, c'est tout d'abord parce que ce terme, forgé dans le domaine de la psychologie du travail, est

naturellement lié à l'idée de maîtrise dans l'exercice professionnel. Rappelons que de Montmollin (1984) hésite, pour dénommer ce concept, entre « compétence » et « professionnalité ». L'élargissement de ce concept aux activités de loisir, pour peu qu'elles représentent pour l'acteur un lieu d'investissement significatif et de recherche de maîtrise, ne pose guère problème : on comprendra que même s'il ne s'agit pas d'un « métier » rémunéré, permettant de gagner sa vie, on puisse être devenu un joueur de jazz compétent, un maquettiste compétent, mais aussi un handballeur, un grimpeur, un gymnaste compétent. On ne se réfère plus alors à un métier, mais plus largement à ce que nous avons dénommé un « domaine social d'activité » (Delignières et Garsault, 1993). Nous entendons par là toute activité, reconnue et partagée (donc essentiellement culturelle), dans laquelle des individus, seuls ou collectivement, se fixent des objectifs, visent des résultats, et s'accomplissent personnellement.

La compétence, indice de maîtrise dans un domaine d'activité, doit être distinguée de l'habileté, indice d'efficacité dans une tâche spécifiée. Ce qu'il est convenu d'appeler une tâche, pour reprendre les termes de Leplat et Hoc (1983), c'est « un but à atteindre dans des conditions déterminées ». Dans le domaine des tâches motrices, on appelle « but » une modification requise de l'environnement (par exemple, mettre une balle dans un panier), ou des rapports entre le corps et l'environnement (par exemple, faire passer le corps au-dessus d'une barre sans la faire tomber). Ce but doit être atteint en respectant certaines conditions, que Famose (1990) propose de classer en conditions environnementales et conditions procédurales. Les premières renvoient au milieu physique dans lequel le sujet doit construire sa réponse (dispositifs, objets, équipements, etc.), et les secondes aux « *prescriptions quant aux opérations à mettre en œuvre pour atteindre le but* » (Famose, 1990). Ces prescriptions peuvent renvoyer au règlement de l'activité (par exemple appel à un pied en hauteur), ou à l'adoption de solutions motrices particulières (sauter en style « fosbury »). L'énoncé de ces conditions est nécessaire dans le cas des habiletés morphocinétiques, le but de forme pouvant difficilement être précisés par un aménagement matériel.

Ce qu'il faut retenir du concept de tâche, c'est qu'il désigne le plus souvent une situation (1) épurée, (2) clairement délimitée, et (3) possédant une solution univoque. L'épuration est sans doute la caractéristique la plus délicate à justifier. Dans les contextes scientifiques (tâches de laboratoire) ou didactique (tâches scolaires), la construction de la tâche repose sur l'éviction de tout ce qui pourrait nuire à l'expression du savoir qui la sous-tend. Cette épuration opère au travers de deux versants complémentaires. Tout d'abord la tâche est décontextualisée : on tente le plus souvent de l'isoler des enjeux extérieurs, des distracteurs potentiels de l'environnement (Delignières, 1993). Enfin la tâche est simplifiée : souvent dérivée d'une activité plus complexe, la tâche en présente une version réduite, où l'on a tenté de limiter les contraintes en présence.

La tâche est clairement délimitée. On veut dire par là que l'on sait de manière précise et non équivoque ce qui appartient à la tâche et ce qui lui est extérieur, ce que l'on doit prendre en compte, et ce que l'on peut ignorer. Dans les définitions les plus courantes du concept de tâche (voir plus haut), on admet que celle-ci est constituée d'un but à atteindre, selon certaines conditions à respecter, notamment règlementaires, dans un environnement donné. Les éléments à prendre en compte dans une tâche représentent une structure simple, entièrement connue, transparente. C'est sans doute à cause de cette transparence que ce concept a connu le succès que l'on sait dans le milieu scolaire. La tâche est un concept sur lequel on a l'impression de pouvoir « travailler » de manière analytique et rationnelle. C'est d'ailleurs là le fondement du projet de Famose (1983 ; 1990) visant à proposer des grilles d'analyse des tâches, permettant à loisir de les simplifier, complexifier, adapter à tel ou tel objectif.

La tâche possède une solution univoque : on n'évoque que peu cette caractéristique qui pourtant sera essentielle dans la suite de la discussion. La tâche est généralement construite pour canaliser le comportement du sujet vers un comportement attendu. Dans le domaine du

travail, cette prescription univoque peut être liée à des exigences de rentabilité, ou de sécurité. On peut parfois retrouver les mêmes exigences à l'École, mais on peut espérer que la construction des tâches éducatives est plutôt pilotée par la volonté de construire des habiletés précises, ou de développer tel ou tel processus de résolution de problème.

On peut ajouter pour finir que la tâche est généralement délimitée dans le temps. Parce qu'elle possède un but clairement identifié, l'atteinte de ce but, ou éventuellement l'abandon face aux difficultés, intervient généralement dans un délai raisonnable. Certaines formules courantes ont pu parfois laisser perdurer quelques ambiguïtés. Par exemple lorsque l'on évoque la « difficile tâche de parent d'élève », il est clair que l'on s'écarte du sens psychologique qui nous anime ici. On peut cependant parler de tâche pour une activité présentant une certaine durée, mais il s'agit alors d'activités cycliques, répétant de nombreuses fois un pattern donné (c'est le cas par exemple des tâches de locomotion).

En première approximation on peut dire qu'un domaine d'activité, tel que nous l'avons défini, est potentiellement composé d'une infinité de tâche. Certaines usuelles, faisant le quotidien de l'exercice de la compétence, d'autres hautement prédictibles, quoique n'apparaissant dans les faits que relativement rarement dans l'exercice réel de la compétence, d'autres enfin n'apparaissant qu'exceptionnellement, au travers de situations de crise ou d'accidents imprévus.

Bien que nous l'ayons déjà présentée à de multiples reprises, nous ne pouvons ici manquer de revenir à une illustration proposée par Varela (1989, Figure 2). L'auteur représente au travers de ces schémas l'évolution des sciences cognitives, qui se sont construites à l'origine au travers de l'étude de situations simples, paradigmatiques, susceptibles d'être confinées dans l'enceinte du laboratoire. C'est ce type de situation qui est décrite dans le schéma du haut, qui renvoie à ce que nous avons appelé précédemment une tâche : la tâche est relativement simple, ce qui permet par ailleurs d'en réaliser une analyse à peu près exhaustive. On en rend ici compte par la mise en évidence d'un nombre réduit d'éléments, de plus organisés au sein d'un système à la structure hiérarchique non ambiguë. Elle est également très bien définie, c'est-à-dire que l'on peut sans équivoque dire ce qui appartient à la tâche et ce qui lui est extérieur. La délimitation pointillée rend compte de cette définition.

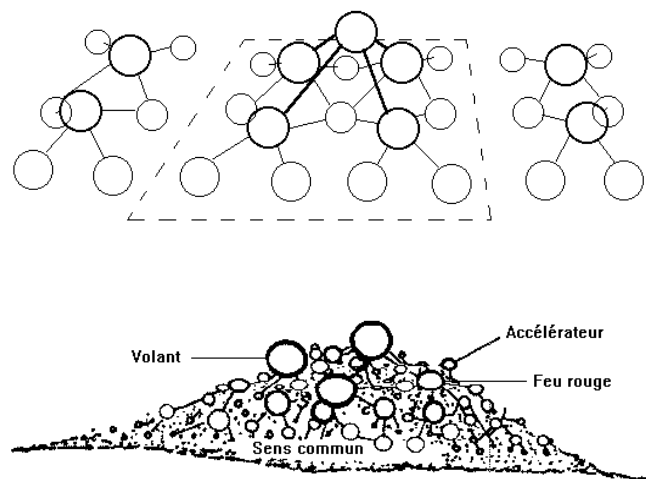


Figure 2 : Le schéma du haut illustre une tâche simple, clairement délimitée, dont la maîtrise peut être synonyme d'habileté. Celui du bas illustre les situations complexes, mal définies, dans lesquelles s'expriment les compétences (d'après Varela, 1989).

Les situations pédagogiques scolaires répondent généralement à ce type de structuration. On se rappelle sans doute ces énoncés d'exercices : « soit un pendule de longueur  $l$  et de masse  $m$ . Calculez la période d'oscillation de ce pendule. On prendra  $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$  et on négligera les frottements liés à la résistance de l'air ». Ce type d'énoncé délimite clairement ce qui doit être pris en compte et ce qui doit être négligé. L'élève doit appliquer une règle connue, que l'énoncé lui permet de reconnaître, qui doit sans ambiguïté le mener à la solution.

En regard, Varela oppose les situations de la vie réelle. Il prend ici l'exemple de la conduite automobile, expliquant la présence dans la figure de quelques éléments « saillants » : le volant, l'accélérateur, le feu rouge... Ces éléments émergent d'un ensemble diffus, au sein duquel on peut retrouver d'autres aspects de la situation objective : un enfant qui s'apprête à traverser, peut-être un policier en patrouille, une visibilité réduite... Et puis d'autres éléments moins objectivables : le conducteur est-il pressé ou a-t-il tout son temps ? Face à cette situation complexe, le sujet va devoir prendre une série de décisions. La première sera sans doute de sélectionner ce qui est important dans cette situation et ce qui est accessoire. Les situations de la vie réelle ne prescrivent pas l'essentiel. C'est l'individu qui, armé de ses connaissances, de ses habiletés, de sa confiance dans ses savoir-faire, et aussi de ses valeurs, qui va décider quels éléments de la situation vont organiser sa conduite. Agir dans une telle situation est avant tout décider, souvent dans l'incertitude. C'est la capacité à gérer ce type de situation que l'on appelle compétence.

Les métiers, les activités sportives et artistiques, ce que nous avons appelé des domaines sociaux d'activité, sont des situations de ce type. Ici on ne distingue nettement qu'une finalité à long terme. Il s'agit évidemment de « faire le métier ». Dans certains cas on pourra définir les objectifs de manière assez opérationnelle : « mener mon avion en sécurité jusqu'à New York », « remporter le championnat du Monde », etc. Mais souvent l'exercice du métier ne renvoie même pas à des objectifs si précis. Il s'agit souvent de faire de son mieux pour remplir une mission de service, dont les contours se dessinent au fur et à mesure des besoins. Ce que l'on peut dire de ce type de situation, c'est que si une finalité très générale leur donne du sens, les objectifs qui vont organiser l'action du sujet restent a priori peu définis. Le détail des actions réalisées minute après minute, heure après heure, jour après jour, ne peut être prédit à l'avance.

Comme les situations décrites par Varela, les métiers sont en général des situations mal délimitées. On pourrait évidemment trouver certains contre-exemples. La taylorisation, à partir du 19<sup>ème</sup> siècle, a réussi à construire des emplois parfaitement définis, par exemple dans les chaînes de montage. Au point que l'on peut se demander si le concept de compétence peut s'appliquer à ce type de métier. D'autres métiers possèdent une culture poussée de la délimitation, mais dans ce cas l'objectif est surtout de maîtriser l'imprévu. Notamment dans le domaine militaire on pousse assez loin la standardisation des perceptions, des prises de décision et des réponses. Un militaire est entraîné à extraire de manière rationnelle et attendue ce qui est essentiel dans une situation, et ce qui est accessoire. On retrouve le même entraînement chez les urgentistes, les astronautes, etc. Ce qui ne veut évidemment pas dire que dans ce cas les situations sont clairement délimitées, loin de là. De telles précautions visent à maîtriser l'imprévu en situation de stress extrême et à éviter des comportements imprévisibles. Généralement donc les métiers ne correspondent pas à des successions de tâches standardisées et sans surprise. Il s'agit de s'adapter : aux besoins des clients, à l'évolution du marché, aux difficultés d'un élève, à résoudre un dysfonctionnement ou une panne. Et dans tous ces cas la délimitation du problème est une décision à prendre.

Prenons le cas d'un enseignant confronté à un élève récalcitrant. Quel est le problème ? Est-il centré sur l'élève, sa personnalité ? Se situe-t-il dans le rapport de l'élève à l'exercice proposé, à la discipline en général ? Plus largement à l'École ? S'agit-il d'un problème relationnel avec l'enseignant ? Plus largement avec l'autorité, sa famille, le monde en général ?

On pourra ainsi avoir des lectures didactiques, pédagogiques, psychopathologiques, sociologiques, qui chacune vont tenter de « délimiter » la situation. Mais le plus souvent l'enseignant agira sans prendre le temps de l'analyse. Il opérera sa propre délimitation, de manière intuitive. Mais parce qu'il est compétent, son choix sera le plus souvent pertinent.

Dans ces situations complexes, la solution est souvent loin d'être unique. Si dans une tâche le comportement est canalisé vers une solution plus ou moins obligatoire, dans la complexité il y aura toujours de multiples manières de s'en sortir. Ceci est lié au fait que les critères d'appréciation de la « performance » sont multiples et souvent non hiérarchisés. Tel chef militaire pourra ainsi mettre en avant le coût humain, tel autre le coût stratégique ou le coût en matériel. Dans les trois cas des décisions différentes seront prises. Dans ces situations également, la réussite ou l'échec ne sont pas aussi clairement définis que dans les tâches élémentaires. Qu'est-ce qu'un bon enseignant ? Celui qui aura mené tous ses élèves dans une démarche d'apprentissage ? Celui qui aura bouclé le programme ?

Souvent la solution se construit progressivement, au fil de multiples décisions qui relèvent davantage du tâtonnement éclairé que d'une analyse rationnelle et exhaustive qui serait de toutes manières impossible. J'illustre souvent cette idée avec mes étudiants au travers du film Apollo XIII, qui relate le sauvetage d'un équipage d'astronautes lors d'une expédition lunaire. Confrontés à une situation particulièrement dramatique et extrêmement complexe, astronautes et ingénieurs vont associer leurs compétences pour construire la solution. Il s'agira de décisions successives, faisant évoluer progressivement la situation, chaque nouvelle décision se basant sur les décisions précédentes. L'idée est simplement d'aller au maximum dans la bonne direction, à chaque étape, sans obérer les chances finales de réussite.

Ces caractéristiques des situations complexes permettent de cerner celles des compétences qui en sous-tendent la maîtrise. En premier lieu, il est clair que la compétence ne peut donc être uniquement considérée comme un savoir agir. Divers auteurs ont insisté sur ces aspects stratégiques. Ainsi pour Perrenoud (1999) « *une compétence est une capacité d'action efficace face à une famille de situations, qu'on arrive à maîtriser parce qu'on dispose à la fois des connaissances nécessaires et de la capacité de les mobiliser à bon escient, en temps opportun, pour identifier et résoudre de vrais problèmes* ». On retrouve la même idée chez Le Boterf (1994) : « *La compétence n'est pas un état ou une connaissance... des personnes qui sont en possession de connaissances ou de capacités ne savent pas les mobiliser de façon pertinente et au moment opportun...* ». L'idée sans doute la plus intéressante est que l'individu compétent sait aussi éviter les faux problèmes, ne pas s'investir dans des impasses. La compétence est aussi une compétence d'évitement.

Il y a donc dans la compétence du jugement : la compétence peut même amener le cas échéant à remettre en cause la règle. Ainsi pour Perrenoud (1999) « *la compétence ne se réduit jamais à des connaissances procédurales codifiées et apprises comme des règles, même si elle s'en sert lorsque c'est pertinent. Juger de la pertinence de la règle fait partie de la compétence* ». Ceci nous rappelle des débats récents, notamment sur l'attitude de la gendarmerie lors de la rafle du Vel d'Hiv : doit-on respecter la loi lorsque la loi est inique ? Doit-on obéir à un ordre irrecevable ? Nous faisons l'hypothèse que la compétence devrait en effet permettre un usage distancié de la règle, permettant d'en saisir l'utilité, la philosophie mais aussi les limites, et autorisant également, dans les cas extrêmes (mais on a vu que la compétence incluait aussi la capacité de répondre à l'urgence), de s'en émanciper.

On retrouve cette idée d'une application subtile de la règle chez Reboul (1980), qui affirme que « *la compétence se distingue du savoir-faire, aptitude à agir, et du savoir pur, aptitude à comprendre, en ce qu'elle est une aptitude à juger* ». La compétence ne peut résider dans l'application brute des savoir-faire, ni dans la froideur de l'analyse. Confronté à une

situation complexe, il s'agit de faire preuve de discernement. Reboul donne l'exemple de l'expert en tableaux, dont la compétence « *n'est pas une somme de savoirs sur l'histoire de la peinture, mais l'aptitude à appliquer ces savoirs à des œuvres inconnues pour décider si elles sont authentiques ou non ; si le verdict de l'expert était totalement prévisible, on n'aurait pas besoin de lui* » (Reboul, 1980). Cette idée peut également être illustrée par le travail des tribunaux. Si la justice n'était qu'un problème d'application de la loi, on n'aurait pas besoin de juge. Un ordinateur, une fois renseigné sur la faute commise, pourrait sans problème calculer la peine correspondante. Mais justement la justice est une situation complexe, dans laquelle on doit prendre simultanément en compte les droits des victimes, les besoins de la communauté, la jurisprudence, la réinsertion future de l'accusé, et aussi le devenir de la société.

En second lieu, la compétence apparaît comme ce que l'on pourrait appeler une « coalition de ressources ». Autant une tâche semble favoriser de manière quasi univoque un certain type de ressource (on parle d'ailleurs de « tâche motrice », de « tâche cognitive », etc.), autant les situations complexes demandent la collaboration de multiples domaines de ressources. Intuitivement, on pressent que dans l'exercice de son « métier », l'individu compétent fait appel à ses capacités de raisonnements, à sa connaissance du domaine, à des automatismes qui vont lui permettre de résoudre à peu de frais certaines tâches routinières, à des capacités de jugement aussi, basées sur des normes et des valeurs. On reviendra longuement dans les parties suivantes sur cet aspect. Retenons simplement que la compétence est essentiellement composite.

Enfin une facette rarement évoquée des compétences est l'exigence d'assurer la pérennité de l'activité concernée. Leplat et Pailhous (1976) donnent l'exemple du dentiste, dont la compétence ne pourra en définitive être évaluée que s'il parvient à fidéliser une clientèle et à assurer la pérennité de son cabinet. Il ne suffit donc pas d'être un dentiste habile, de poser des diagnostics fiables, d'être au fait des dernières biotechnologies. Encore faut-il donner confiance à ses patients, et aussi être capable de gérer une entreprise. De même, dans le domaine sportif, l'athlète compétent est aussi celui qui dure, du moins le temps de sa carrière de compétiteur. On pourrait d'ailleurs ajouter que le sportif compétent est aussi celui qui sera capable de gérer avec soin sa reconversion, et qui saura l'anticiper (Stephan, Bilard, Ninot, et Delignières, 2003). Au-delà de la performance, la compétence doit préserver : préserver l'intégrité corporelle, préserver le matériel, et aussi préserver l'environnement. A la question « qu'est-ce qu'un bon grimpeur ? », je me souviens cette réponse d'un de mes camarades voici quelques années : « c'est un vieux grimpeur »...

Il est peut-être utile à ce niveau de distinguer clairement compétence et expertise. La compétence décrit la capacité à maîtriser des situations complexes, et peut se décliner en fonction du degré de complexité des situations. On pourra ainsi parler de la compétence du débutant, qui s'exprimera au travers de situations déjà complexes, mais sans difficulté majeure. L'expertise pour sa part renvoie à la capacité de maîtriser, dans un domaine donné, les situations les plus complexes qui soient. L'expertise est un cas particulier de compétence, celle de l'expert de haut-niveau.

Si j'insiste tant pour définir les contours du concept de compétence, c'est que je sais que spontanément ce terme appelle des acceptions différentes. Ainsi j'ai récemment trouvé sur un *blog* tenu par un collègue enseignant d'Éducation Physique une argumentation assez complète sur les compétences<sup>6</sup>. Bien que citant des sources auxquels je me suis moi-même référé

---

<sup>6</sup> Il s'agit du blog de Gwenael Le Coz, accessible à l'adresse suivante : <http://www.demarcheps.canalblog.com/>. (pages visitées en septembre 2008). Même si mon propos est ici assez critique vis-à-vis des propositions de l'auteur, je tiens à saluer l'effort réalisé pour formaliser une conception de l'enseignement et la mettre à disposition du public.

(notamment Perrenoud et Le Boterf), l'auteur propose la définition suivante : la compétence est définie comme un « *comportement efficace répondant à un objectif ou à un problème donné* ». Définition étonnante à plus d'un titre. Déjà parce que les termes d'habileté, de compétence, de connaissance ont été utilisés depuis longtemps pour décrire ce qui sous-tend le comportement et non le comportement lui-même. On retourne ici aux origines du cognitivisme, visant à élucider les processus internes, par essence inobservables, au travers du comportement manifeste. Plus important sans doute est cette centration sur « un objectif ou un problème donné ». Il est clair que l'on se situe davantage ici sur le registre de la tâche que sur celui de la situation complexe.

Les exemples donnés par l'auteur de ce blog confirment ce pressentiment. Ainsi une compétence « motrice » en badminton pourrait être : « *frapper fort le volant au-dessus de la tête en frappe montante, de la partie arrière du terrain, pour faire reculer l'adversaire* ». Encore s'agit-il pour l'auteur d'une « compétence » particulièrement complexe, nécessitant « *des ressources nombreuses et complexes, à un niveau élevé d'éducation physique* ». Un exemple proposé de compétence plus simple : « *faire rouler un ballon pour le transmettre à un partenaire* ». On voit que l'on est ici davantage dans la solution imposée que dans la situation mal délimitée et incertaine. L'auteur évoque également des compétences non-motrices, « sociales » ou « méthodologiques ». Comme exemple de compétence « sociale » : « *faire le silence pendant les explications du professeur pour entendre les consignes* ». Je pense que ces exemples illustrent le danger de banalisation du concept de compétence. De telles acceptions ne renvoient guère qu'à habiller de neuf des manières de faire anciennes.

### **La pédagogie des compétences**

Depuis quelques années, de nombreux auteurs dans le domaine des Sciences de l'Éducation militent pour une pédagogie des compétences à l'École. Les contours de cette approche sont encore variables d'un auteur à l'autre, mais d'une manière générale on peut dire que la plupart est en accord avec la définition des compétences que je viens de développer, et considère que l'École doit viser la maîtrise de situations complexes, mobilisant de façon conjointe les ressources de l'élève, plutôt que de se contenter de juxtaposer des apprentissages élémentaires.

Notons que finaliser l'enseignement par la maîtrise de situations complexes ne veut pas simplement dire terminer un cycle d'enseignement par ce type de situation. Ce n'est pas parce que l'on a fini une séance de sports collectifs par un « petit match » que l'on a mis en place une pédagogie des compétences. L'enseignement doit porter sur la maîtrise de ces situations. Par ailleurs, il doit être clair que lorsque l'on dit que l'on finalise l'enseignement par la maîtrise d'une situation complexe, cette situation ne constitue qu'un exemple parmi une famille de situations supposées mobiliser la compétence visée. En d'autres termes, ce n'est pas la situation terminale que l'on enseigne (ce qui n'aurait d'ailleurs aucun sens), mais bien la compétence qu'elle est censée mettre à l'épreuve.

Dans certains cas la situation complexe visée est très proche des « métiers » ou des pratiques sociales qui ont servi de cadre pour forger le concept de compétence. C'est fréquemment le cas dans l'enseignement professionnel, où l'on vise en effet de donner aux élèves la compétence correspondant au métier visé. On peut aussi évoquer ces remarquables projets de classe s'engageant dans la construction de prototypes de véhicules concourant dans des épreuves de consommation. Dans le domaine de l'Éducation Physique, on peut aussi évoquer les projets d'aventure (ski, alpinisme, etc.), ou les projets artistiques débouchant sur la production de spectacles présentés en dehors du cadre scolaire. Dans tous les cas, il s'agit de mettre la compétence des élèves à l'épreuve du monde réel. Galichet (1998) voit dans cette

confrontation directe aux « réalités socio-politiques » une des formes les plus élaborées de l'éducation à la citoyenneté. Je reviendrai plus loin sur ce point.

Mais la plupart du temps, les situations complexes autour desquelles s'organise la pédagogie des compétences restent typiquement scolaires. Elles possèdent les propriétés de complexité, d'incertitude, de faible détermination évoquées précédemment, sans pour autant renvoyer nécessairement aux situations de la vie réelle. Je donne souvent à mes étudiants, candidats aux concours de recrutement, l'exemple des épreuves d'écrits auxquelles ils se préparent. Rédiger en quatre heures une composition sur un sujet non connu à l'avance est un bel exemple de situation complexe. De quoi s'agit-il ? De convaincre le correcteur que vous êtes capable de déployer une argumentation convaincante pour traiter le sujet proposé. Une telle situation, on le sait, ne possède pas de solution unique. C'est bien le problème de ceux qui ont la charge de proposer un « corrigé » pour ces épreuves. Il y a de multiples manières de s'en sortir, et deux copies très différentes pourront obtenir la même excellente note. La situation n'est jamais très bien délimitée. C'est pourquoi le candidat doit travailler le sujet pour un extrait d'une problématique. Ce faisant, il sélectionne les problèmes qu'il juge utile de traiter, et délaisse les pistes accessoires. On conçoit sans problème qu'une telle épreuve mobilise en manière conjointe de multiples ressources : il faut évidemment maîtriser l'orthographe, la grammaire, le style, une calligraphie acceptable. Il faut maîtriser les connaissances scientifiques relatives au champ disciplinaire, les connaissances institutionnelles et professionnelles. Il importe aussi de sentir « l'air du temps », les problématiques qui animent la discipline en particulier, l'École en général et la société toute entière. On ne traite pas aujourd'hui un sujet sur l'échec scolaire comme on l'aurait traité vingt ans en arrière. Il faut enfin maîtriser les règles de l'argumentation. Règles assez floues par ailleurs, car en fait une logique argumentaire donnée (par exemple le plan dialectique thèse-antithèse-synthèse) pourra tout à fait convenir pour tel sujet mais pas pour tel autre. On voit que la dissertation est en soi une situation complexe, et que ce que l'on doit développer pour y faire face est bien du registre de la compétence.

Ce que je voudrais pointer ici, c'est que les situations complexes ne sont pas nécessairement des usines à gaz, des montages compliqués nécessitant matériel, encadrement exceptionnel, ou budgets conséquents. Des élèves s'organisant pour monter une chorégraphie, d'autres traçant leur parcours sur une carte de course d'orientation, d'autres manœuvrant leur équipe dans un tournoi de sports collectifs sont déjà dans des situations complexes. A partir du moment où il n'y a pas de réponse simple, que la situation est porteuse d'enjeux et d'incertitude, on entre dans la complexité. Et il ne faut pas concevoir la dichotomie simple/complexe dans une logique binaire. Gérard (2003) donne un exemple illustratif dans le cadre de l'enseignement primaire. La compétence visée est énoncée de la manière suivante : « *produire dans une situation significative pour l'élève (dans un court message écrit) un énoncé écrit court et simple, dans l'intention de faire agir quelqu'un* ». La situation est présentée ainsi aux élèves : « *Ton école envisage d'organiser une excursion, dans l'une des localités de la région, riche en paysages attirants. Afin de préparer cette excursion, le maître vous demande 3 tâches, dans le respect du règlement de l'école. (A). Décris en quelques lignes l'endroit où tu voudrais aller. Écris pourquoi et ce qu'on pourrait y faire. (B) Établis la liste du matériel qu'il faudra prendre avec soi pour l'excursion. (C) Écris une petite lettre au directeur de l'école pour lui demander l'autorisation de partir en excursion.* ». Pour des élèves de l'enseignement élémentaire, cette situation présente déjà un niveau de complexité appréciable. L'idée est évidemment d'adapter la complexité à l'élève, sans cependant retomber dans la simplicité de l'exercice à réponse standardisée.

Ces exemples montrent bien que les situations complexes visées par la pédagogie des compétences peuvent être typiquement scolaires. On sait que le concept de compétence a été

forgé en référence aux métiers et aux pratiques professionnelles. Il ne faudrait pas en conclure que la pédagogie des compétences est une formation professionnelle et utilitariste. Certains ont émis des réserves vis-à-vis de cette approche, à cause de ses liens étroits avec le monde du travail. Mettre en avant les compétences, n'est-ce pas faire le deuil des connaissances académiques, n'est-ce pas viser l'utilité à court terme, n'est-ce pas fournir au monde du travail une main d'œuvre immédiatement disponible ? Il me semble que ce qui est retenu par la pédagogie des compétences, c'est que les situations de la vie réelle sont des situations complexes, mal délimitées, et que ce sont à ce type de situations que l'École doit préparer l'élève. Or l'École, parce que c'est sa tradition (je reviendrai plus tard sur sa philosophie analytique), a plutôt tendance à distiller le savoir de manière segmentée, atomisée, au travers de tâches simples, élémentaires (Rovegno, 2000). La pédagogie des compétences vise à introduire de la complexité dans les apprentissages scolaires, parce que c'est la seule solution pour préparer l'élève à la complexité du monde qui l'entoure.

Donc puisque ce sont des compétences qui permettent aux individus de maîtriser la complexité de leurs activités (professionnelles ou de loisir), ce sont également des compétences que l'École doit développer chez les élèves, pour leur apprendre à gérer le complexe. Ceci ne veut pas dire que toute la complexité du Monde doit rentrer à l'École. Cette dernière est un lieu de propédeutique, de préparation, d'apprentissage, où chaque élève a droit à la sécurité. Par contre il est nécessaire d'apprendre à chacun à gérer la complexité, au travers de l'exercice de situations possédant les mêmes caractéristiques de complexité que les situations de la vie réelle. La pédagogie des compétences, ou plutôt l'entrée en pédagogie par les compétences, n'est pas l'apprentissage précoce de savoir-faire professionnels, mais un apprentissage de la complexité qui cherche à insérer les savoirs, savoir-faire et savoir-être dans des situations reproduisant la complexité des situations de la vie réelle (Reboul, 1980 ; Perrenoud, 1997 ; Le Boterf, 1999). Je reviendrai évidemment largement sur cette approche de l'enseignement, qui constitue le centre de cet ouvrage.

### **Compétences spécifiques ou compétences transversales**

Telle que nous l'avons définie, une compétence est de toute évidence inscrite dans une culture. Comme l'exprime avec concision Le Boterf (1999), « la compétence est un savoir agir reconnu ». Reconnu, c'est-à-dire « socialisé, validé, inséré dans un exercice, un lieu ». Les compétences renvoient donc à la maîtrise de pratiques sociales : professionnelles, scientifiques, sportives, artistiques, mais surtout partagées et reconnues par tous. Ceci a deux importantes conséquences. La première est qu'une pédagogie des compétences est de ce fait nécessairement une pédagogie culturaliste, considérant que l'École doit transmettre les formes les plus élaborées de la culture (Delignières et Garsault, 2004). La compétence ne peut renvoyer à la maîtrise de situations abstraites, qui ne résonneraient pas avec des pratiques connues de l'élève.

La seconde est que le niveau de définition le plus pertinent pour la compétence est celui de la pratique sociale elle-même. On pourrait en effet, avec des justifications diverses, segmenter la compétence en « sous-compétences ». Imaginons par exemple que la compétence de l'athlète soit composée de quatre sous-compétences : l'entraînement, la préparation à la compétition, la gestion de la compétition, et la récupération post-compétitive. Chacune de ces composantes pourrait d'ailleurs se voir attribuer le statut de compétence, dans la mesure où elles renvoient toutes à la gestion de situations complexes et mal délimitées. Néanmoins ces sous-compétences sont fortement inter-reliées et chacune ne prend de sens qu'en rapport avec les trois autres. C'est le niveau le plus macroscopique, la compétence de l'athlète, qui correspond à ce « savoir agir reconnu ».

Si la compétence est essentiellement culturelle, si elle est ancrée dans une pratique spécifique, que peut-on dire de sa transversalité ? Il s'agit d'une question particulièrement

délicate. Parce que la compétence est supposée permettre de générer une infinité de performances potentielles dans des situations évolutives et sans cesse renouvelées, on peut dire qu'elle est essentiellement transversale. Une compétence ne peut se réduire à un projet précis, à un résultat ou à une performance reproductibles. Mais d'un autre côté la compétence est définie par la capacité à maîtriser l'exercice d'un domaine d'activité, et dans ce sens elle est essentiellement spécifique.

A l'heure où j'écris ces lignes les nouveaux programmes pour l'Éducation Physique au Collège viennent de sortir<sup>7</sup>. Je suis toujours attentif à ces textes, ne serait-ce que parce que durant leur période de validité, ils deviennent la référence théorique de tous les candidats aux concours de recrutement. Et lorsque les programmes officiels entrent en conflit avec des références scientifiques par ailleurs dûment reconnues, nous avons bien du mal dans les instituts de formation à expliquer à nos étudiants ces dissonances théoriques.

Ces programmes distinguent deux ensembles de compétences : « *les compétences propres à l'EPS, révélant principalement une adaptation motrice efficace de l'élève confronté aux grandes catégories d'expériences les plus représentatives du champ culturel des APSA* », et « *les compétences méthodologiques et sociales révélant principalement l'appropriation d'outils, de méthodes, de savoirs et de savoir-être nécessaires aux pratiques et aux apprentissages dans le respect des règles et des rapports humains* ». D'une part des compétences spécifiques, qui seraient essentiellement liées aux pratiques de référence de la discipline, et d'autre part des compétences transversales, qui auraient en quelque sorte une existence indépendante des situations auxquelles elles pourraient éventuellement s'appliquer.

Disons-le tout net : l'idée de compétence transversale est un non-sens théorique. Par définition, une compétence est enkystée dans l'exercice d'une activité spécifique. Comme le remarque Rey (1996), « *ce qu'on peut observer d'une compétence transversale, ce n'est jamais que son usage dans telle tâche particulière relevant de telle discipline, son usage dans telle autre et ainsi de suite ; ce qui est offert à mon regard ce n'est jamais la compétence transversale, mais une série de compétences spécifiques. C'est moi qui, par abstraction, isole dans la complexité de chaque situation ce qui me paraît commun avec la complexité des autres* ». Le concept de compétence transversale n'est qu'une illusion théorique, un terme rassurant qui conforte une intention pédagogique. Il serait évidemment rassurant de se dire qu'on a pu « construire » à un moment donné une « compétence » que l'on appellerait « responsabilité » ou « respect d'autrui », et qui serait à l'avenir disponible quelle que soit la situation. Ce serait se bercer d'une illusion enfantine. Ce qu'on a cru pouvoir appeler « responsabilité » ou « respect d'autrui » ne sont que des comportements essentiellement situés dans leur contexte d'émergence, encapsulés dans une compétence spécifique. Si l'on veut voir émerger quelque chose d'approchant dans un autre domaine d'activité, il faudra le reconstruire.

Ce qui ne veut pas dire qu'une compétence construite dans un domaine donnée ne peut pas être réinvestie dans un autre. Comme le souligne Rey (1996), « *le sujet peut avoir sur des situations ou des objets nouveaux, des intentions qui les structurent et y décèlent les caractères propices à la mise en œuvre de compétences particulières qu'il possède déjà* ». Et l'auteur ajoute plus loin : « *C'est le sens que le sujet donne à une situation qui décide si elle va relever ou non de telle classe de situation et, donc, de telle compétence spécialisée... Par suite la transversalité, c'est-à-dire la similitude qu'on établit entre plusieurs situations, dépend du sens que le sujet donne à chacune* ».

---

<sup>7</sup> Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008

## Vers la complexité

Les termes « complexe » et « complexité » ont largement émaillé ce chapitre. Dès que l'on s'intéresse aux compétences, que l'on tente d'en cerner la pertinence, la complexité n'est jamais très loin. Il convient cependant de bien distinguer deux lieux de complexité. Le premier est celui de l'activité à laquelle l'individu s'adonne. Comme je l'ai évoqué, les situations de la vie réelle se présentent comme un enchevêtrement de contraintes au sein duquel il faudra trouver un cheminement adaptatif. La vie réelle, les métiers, les activités sportives et artistiques, confrontent les individus à des situations d'une grande complexité.

Le second lieu de complexité est évidemment la compétence elle-même. Un argument intéressant à ce sujet relève du principe de la *variété requise* d'Ashby (1956). Ce principe de la cybernétique énonce que pour qu'un premier système puisse en contrôler un second, il faut que la complexité du premier soit supérieure ou au moins égale à celle du deuxième. En d'autres termes, seul un système complexe peut contrôler une situation complexe.

On s'accorde en général pour définir la compétence comme un ensemble composite de ressources. Ainsi De Montmollin (1984) la définit comme « *un ensemble hiérarchisé de savoirs, de savoir-faire, de conduites-types, de procédures standards, de types de raisonnement que l'on peut mettre en œuvre sans apprentissage nouveau* ». La compétence inclut notamment des savoir-faire, que l'on appellera encore d'un auteur à l'autre habiletés, ou connaissances procédurales. Il s'agit de ressources s'exprimant par l'action, et évaluées au travers de leur efficacité dans une tâche précise. Ces habiletés ne sont pas uniquement motrices, même si l'on a pris l'habitude dans notre domaine de limiter ce concept aux aspects moteurs. L'habileté peut être également essentiellement cognitive. Il s'agit alors de manières de raisonner, d'organiser, de traiter, de retenir les informations. Ce sont aussi des manières de communiquer, l'organiser le transfert de l'information. Ces habiletés sont des outils largement automatisés que l'individu exploite pour mener à bien ses projets, sans avoir une claire conscience de leur intimité. Ce sont aussi des habiletés hautement spécifiques, c'est-à-dire encapsulées dans des contextes et des situations particuliers. Ceci peut sans doute surprendre le lecteur, car on pense souvent ces savoir-faire cognitifs peu spécifiques, susceptibles d'être appliqués à tout type de situation. Mais on a pu montrer par exemple que la résolution de problèmes de proportionnalité était réalisée de manière complètement différente selon qu'ils portaient, dans des situations scolaires, sur des contenus formels, ou qu'ils concernaient dans la vie de tous les jours sur des objets réels (Lave, 1988).

A côté de ces savoir-faire, la compétence inclut des connaissances déclaratives. C'est-à-dire que l'individu compétent est aussi capable de parler de son activité, de communiquer avec d'autres. La compétence s'accompagne d'un approfondissement théorique de l'activité. Ceci ne veut pas dire nécessairement qu'il s'agisse de théories savantes. Ces théories sont le plus souvent intuitives, issues de la pratique. Mais elles révèlent une certaine prise de recul vis-à-vis de l'immédiat, une tentative de reconnaissance d'invariants, de règles. Par ailleurs, l'individu compétent sait exprimer ces théories selon le code spécifique de l'activité. Il connaît les termes, le jargon spécifique, et de ce fait peut communiquer efficacement dans la communauté des pratiquants.

Enfin la compétence comprend des attitudes. Une attitude est définie comme une prédisposition à réagir de façon défavorable ou favorable envers un objet donné. Relativement stable et durable, toujours orientée vers un objet, elle s'exprime au travers d'évaluations (perceptions, opinions), de sentiments (affects, émotions), de conations (intention, désirs) et évidemment d'actions (comportements manifestes). Comme l'habileté, l'attitude est un construit hypothétique, inobservable au-delà de ses manifestations verbales ou comportementales.

Le cadre conceptuel proposé par la Charte des Programmes (1992) peut se révéler à ce niveau extrêmement pratique. La Charte propose une réécriture des programmes scolaires en termes de « connaissances » et de « compétences ». Les connaissances renvoient à toutes les acquisitions élémentaires réalisées à l'occasion des exercices qui émaillent les leçons. Les compétences intègrent les connaissances dans des ensembles plus vastes, et décrivent ce que l'élève sera capable de maîtriser en fin de cycle d'apprentissage. Dans le cadre, une compétence apparaît bien comme un système complexe, composé d'un agrégat de connaissances.

Mais la compétence ne saurait être conçue comme un simple listing de ressources ou de connaissances. Nous reviendrons largement dans les chapitres qui suivent sur cette idée. Reboul (1980) disait par exemple que « *la compétence ne va pas sans savoirs et savoir-faire. Mais elle les dépasse par le fait même qu'elle les intègre* ». Perrenoud (1997) de son côté définit la compétence comme la « *capacité d'agir efficacement dans un type défini de situation, capacité qui s'appuie sur des connaissances, mais ne s'y réduit pas* ». La compétence est autre chose que l'addition des ressources qui la composent. Cette assertion revient à affirmer la nature complexe de la compétence. Nous avons nous-même défini la compétence comme « *un ensemble structuré et cohérent de ressources, qui permet d'être efficace dans un domaine social d'activité* » (Delignières et Garsault, 1993). Ici aussi c'est davantage la structure et la cohérence qui construisent la compétence que les ressources en elles-mêmes.

Une autre caractéristique importante de la compétence est son indivisibilité. Elle doit permettre de gérer entièrement une situation, sinon on ne peut pas parler de compétence. On illustre souvent cette idée à partir de la compétence des pilotes d'avion. Un pilote compétent devrait savoir décoller, naviguer et atterrir. S'il sait seulement décoller, on ne peut pas dire qu'il est un peu compétent, ou encore « un tiers compétent ». Tant qu'il est incapable de mener son avion à destination, de naviguer vers l'aéroport de destination et d'y atterrir convenablement, il n'est pas compétent. Tout au plus peut-on dire qu'il a acquis quelques éléments de sa future compétence. Cette remarque n'empêche pas de définir des niveaux hiérarchisés de compétence : ainsi un pilote minimalement compétent sera capable de décoller, de naviguer et d'atterrir, sur un petit avion, par beau temps, avec un instructeur et en vol à vue. Les conditions d'exercice de la compétence demeurent limitées, mais son exercice complet est possible. Un pilote plus compétent saura par exemple décoller, naviguer et atterrir sur un appareil gros porteur, de nuit et aux instruments.

La compétence est complexe car elle permet de gérer des situations complexes. Ces deux facettes du problème doivent être séparées. Les situations où s'exprime la compétence sont complexes parce que multifactorielles, dynamiques, mal définies. Il n'y a pas de solution simple à ce type de situation, et leur appréhension nécessite cette mise en réseau complexe des ressources, que l'on appelle compétence. « *La complexité est au cœur de l'approche par les compétences. Être compétent, c'est pouvoir gérer le complexe, parce que la vie, les groupes d'individus ou l'environnement sont d'une complexité étonnante* » (Gérard, 2007).

D'un autre côté, être compétent ce n'est pas gérer la complexité en permanence ni ne faire que cela. L'exercice de la compétence passe le plus souvent par des tâches usuelles, routinières, où l'on applique des procédures simples et répétitives. Néanmoins, être compétent exige aussi de pouvoir faire face à l'imprévu, au complexe, même en dehors de toute situation de crise. Gérard (2007) évoque même le paradoxe suivant : « *on peut même être compétent au sens de pouvoir gérer une situation imprévue et complexe, et n'avoir jamais de sa vie l'occasion d'exercer cette compétence. Combien de pilotes d'avion parfaitement compétents n'ont ainsi jamais dû – heureusement – montrer qu'ils pouvaient réagir en situation de crise* »?

\*\*\*

Au terme de ce chapitre, les deux concepts-titres de l'ouvrage sont clairement mis en relation. Je suis cependant encore resté très allusif sur la complexité, au risque de laisser prise au sens commun que je dénonçais précédemment. Les chapitres suivants sont consacrés à un approfondissement pluridisciplinaire de cette notion. On verra qu'au-delà des évidences premières, le complexe possède des propriétés inattendues, mais dont la prise en compte est essentielle pour comprendre le Monde et y agir. Au fur et à mesure, je pense que le concept de compétence va pouvoir s'affiner et gagner lui aussi en puissance.

## Chapitre 3

### De la difficulté à penser la complexité

Comment définir un système complexe ? Le discours courant a tendance à considérer comme équivalents les termes de « complexe » et de « compliqué ». Ces deux qualificatifs ont cependant des étymologies distinctes. Compliqué (du latin *cum pliare*, empiler avec) signifie que la compréhension de l'objet étudié est délicate, qu'elle va demander du temps et de l'application. Complexe (du latin *cum plexus*, attaché, enchevêtré, emmêlé avec) signifie que les éléments du système sont infiniment intriqués, et qu'on ne peut en étudier une partie de manière isolée. Ainsi, on peut considérer qu'un problème compliqué est cependant réductible à une somme d'éléments constitutifs (ces éléments pouvant être eux-mêmes décomposables en une somme finie d'éléments). Le problème à résoudre sera plus ou moins compliqué, selon le nombre d'éléments à prendre en compte. On parlera de problème complexe si le problème n'est pas réductible à la somme des éléments qui le composent. Afin d'éviter toute ambiguïté conceptuelle, Le Moigne (1999) a proposé d'opposer implexe et complexe : un problème implexe est réductible, et sa décomposition suffit à son élucidation. Les problèmes implexes pourront être alors qualifiés de simples ou compliqués, en fonction de leur niveau de difficulté.

La figure emblématique de la prise en compte de la complexité est évidemment Edgar Morin. Cet auteur s'est attaché au travers de son œuvre à mettre en évidence la complexité du monde et de l'homme et à proposer une méthode pour la concevoir. Il invite à réformer la manière de penser le monde, à entrer dans un nouveau paradigme de la complexité. L'approche d'Edgar Morin va bien plus loin qu'un regard épistémologique sur la pensée scientifique. Il s'agit aussi pour l'auteur de dénoncer l'illusion de certains idéologues à réduire la complexité et la diversité du monde pour le contrôler, le maîtriser par une pensée dogmatique.

#### La science classique

Selon Edgar Morin, la science classique s'est développée sur trois piliers essentiels, qui ont formaté sa manière de penser les phénomènes. Le premier est la notion d'*ordre*, qui suppose une vision mécaniste et déterministe du monde. Dans un système déterministe, les événements sont entièrement déterminés par l'état du système et ses principes de fonctionnement. Le futur d'un tel système est donc prévisible. Par exemple, on peut modéliser la chute libre d'un corps par l'équation suivante :

$$x = -\frac{1}{2}gt^2 + x_0$$

$x$  représentant la hauteur du centre de gravité de l'objet par rapport au sol,  $x_0$  la hauteur initiale,  $g$  l'accélération du champ de pesanteur terrestre (environ  $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ), et  $t$  le temps (en secondes). La vitesse de l'objet à l'impact est donnée par l'équation suivante :

$$v = \sqrt{2gx_0}$$

Comme on le voit, un tel système est entièrement déterministe. On peut prévoir avec exactitude le lieu, le moment et la vitesse de l'impact, pour peu qu'on possède les informations nécessaires sur l'état initial du système et ses principes de fonctionnement. Ce principe d'ordre suggère par ailleurs que le système est a priori connaissable, même si l'état actuel du savoir n'a pas encore atteint cet objectif. Dans ce sens, un désordre inexplicable est considéré comme le symptôme d'une ignorance provisoire, et on suppose que derrière ce désordre apparent, il y a un ordre caché qui reste à découvrir.

On verra dans ce chapitre et dans ceux qui suivent que la science moderne a largement évolué vis-à-vis des idées d'ordre et de désordre. Le désordre n'est plus pensé comme une perturbation exogène, extérieure au phénomène étudié, mais au contraire comme un ingrédient essentiel à la dynamique des systèmes. Ordre et désordre cessent de s'exclure l'un l'autre : par exemple l'ordre peut naître d'états fortement désordonnés, et par ailleurs des processus désordonnés peuvent naître à partir d'états initiaux parfaitement déterministes. Ces aspects paradoxaux de la complexité seront évoqués dans les chapitres suivants.

Un second pilier de la pensée classique est le principe de *séparabilité*, qui repose sur le postulat que pour étudier un phénomène, il convient de le décomposer en entités simples. Ce principe se révèle au travers de multiples aspects de la démarche scientifique, et tout d'abord dans ce que l'on appelle le *réductionnisme cartésien*, doctrine qui tend à considérer qu'un problème complexe doit être étudié avant tout en le décomposant en unités simples. Cet aspect important sera plus particulièrement développé à la fin de ce chapitre. Un autre aspect du principe de séparabilité est la spécialisation disciplinaire : la science est divisée en disciplines, Sciences de la Vie, Sciences Humaines, Sciences Sociales, et au sein de ces catégories de multiples sous-disciplines, qui développent leur propre pertinence et s'ignorent mutuellement. L'université cultive cette séparation disciplinaire, et malgré les appels incessants à la pluridisciplinarité le système favorise peu les chercheurs qui veulent tenter l'aventure.

Enfin une dernière manifestation de ce principe de séparabilité est la supposée disjonction entre l'observateur et ce qu'il observe. Base de la pensée positiviste, ce postulat fonde la science classique : le scientifique se donne les moyens d'un abord objectif, sans présupposé, de son objet d'étude. On sait par exemple que ce principe a été en psychologie à la base du rejet des méthodes introspectives et de la fondation du behaviorisme. Au-delà de ces principes idéaux, on sait cependant que les scientifiques charrient leurs propres idéologies, tout simplement parce qu'ils sont des hommes et des citoyens englués dans une histoire et une société. Par exemple Gould (1983) rapporte comment les travaux de Broca (1824-1880) sur la craniométrie sont entachés d'erreurs systématiques, les mesures concernant les « races sauvages » et des « races civilisées » étant faussées par les préjugés du chercheur. Si Broca était sérieux dans la collecte de ses mesures, il les manipulait ensuite inconsciemment de façon à ce qu'elles collent avec ce que l'idéologie commune de l'époque considérait comme un résultat acceptable. Par exemple, pour démontrer les différences entre hommes et femmes il omet de pondérer la taille des crânes par celle des corps. Il ne commet pas la même erreur lorsqu'il compare des français et des allemands. Canguilhem (1977) au terme de son analyse sur les idéologies scientifiques (voir Chapitre 1) évoque également le problème des « idéologies des scientifiques » : souvent à leur insu, les chercheurs véhiculent des valeurs et des préjugés dont ils ne s'émancipent que difficilement.

Enfin le troisième pilier de la science classique est la *raison*, basée sur les principes de déduction, l'induction, et d'identité. La déduction est le raisonnement par lequel on passe de ou des principes à la conséquence. L'induction consiste à s'appuyer sur l'observation empirique pour dériver une loi explicative. Quant à l'identité, c'est l'idée qu'une chose ne peut être à la fois elle-même et son contraire, le rejet de la contradiction. Ces principes ont été pendant des siècles les bases de la pensée, les instruments de l'administration de la preuve et de la certitude. Ces principes de raisonnement ont été quelque peu malmenés par la science moderne. On a vu précédemment comment Karl Popper a rejeté les principes inductivistes dans la construction du savoir scientifique (voir Chapitre 1). La quiétude argumentaire des systèmes mathématiques basés sur la déduction a été ébranlée par le théorème d'incomplétude de Gödel, montrant qu'il existait dans ce type de théorie des énoncés qui n'étaient pas démontrables et dont la négation n'était pas non plus démontrable, c'est-à-dire des énoncés sur lesquels on ne pourrait jamais rien dire dans le cadre de la théorie considérée. Enfin le principe d'identité a été singulièrement malmené par les développements récents de la physique. La mécanique quantique, par exemple, a dû se confronter à la double nature contradictoire (onde-particule) de ses objets d'étude.

Selon Morin (1996, par exemple), ces trois piliers de la pensée classique ont été sévèrement ébranlés par les développements de la science contemporaine. Morin évoque notamment les avancées de la *théorie de l'information*, qui a permis de progresser sur les notions d'ordre et de désordre, de redondance et d'incertitude, la *cybernétique* qui a permis de rompre avec le principe de causalité linéaire, dotant ainsi les systèmes d'une possible autonomie, et enfin la systémique qui a donné un sens au concept d'organisation, dotant le système de propriétés propres, irréductibles aux éléments qui le composent. Nous reviendrons plus loin sur ces apports. Face à cette faillite de la science traditionnelle, Morin invite à une « réforme de la pensée », seule solution pour enfin parvenir à appréhender le complexe. Il va proposer un ensemble de principes destinés à structurer une nouvelle intelligence de la complexité, que je vais maintenant tenter de résumer.

### **Les principes de la pensée complexe**

Un certain nombre de courants de pensée ont préparé le terrain des approches contemporaines de la complexité. On peut notamment remonter jusqu'à la Psychologie de la Forme (*Gestalt*) qui dès le 19<sup>ème</sup> siècle a travaillé sur les propriétés originales de l'ensemble, vis-à-vis des éléments qui le constituent. Il convient également de citer l'apport essentiel du structuralisme, qui a largement imprégné la pensée scientifique au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. On peut surtout citer l'apport de Levy-Strauss, dans le domaine de l'anthropologie. Le structuralisme va notamment populariser le principe essentiel selon lequel le tout est davantage que la somme des parties qui le constituent. Il insiste sur l'importance du réseau de relations qui lient les éléments, et qui vont constituer l'essentiel de la structure.

Mais la première approche visant explicitement l'étude du complexe est l'analyse systémique. La systémique énonce trois grands principes. Le premier est celui de la *dépendance interactive* : le fonctionnement de chaque élément est sous le contrôle des autres. La modification d'un élément implique une répercussion sur l'ensemble des autres. La systémique n'envisage jamais un élément de manière isolée, mais toujours en relation avec le niveau qui le précède, celui qui le suit et avec son environnement global. Le second est le principe d'*émergence* : des interactions multiples entre éléments émerge une nouvelle entité globale qui représente autre chose que la simple somme des éléments. Cette idée était déjà présente dans le gestaltisme ou le structuralisme. Le concept de propriété macroscopique (donc n'existant qu'au niveau du système) et émergente (c'est-à-dire non imposée de l'extérieur, apparaissant spontanément dans l'organisation même du système) a connu ces dernières années, dans de nombreux domaines et de nombreuses disciplines, des illustrations particulièrement convaincantes.

Si l'on reprend la dichotomie compétences/connaissances, ces principes suggèrent que la compétence ne soit pas qu'un agrégat de connaissances : elle possède des propriétés macroscopiques qui lui sont propres, et qu'aucune connaissance en soi ne saurait déterminer. Enfin, l'enrichissement d'une compétence par l'insertion d'une connaissance nouvelle n'est pas qu'un simple ajout local : c'est une réorganisation complète du système des connaissances qui est alors provoquée.

On a généralement tendance à s'arrêter à l'idée qu'un système est composé d'éléments en interaction. Dans cette conception, l'élément est premier, et les propriétés du tout apparaissent comme la conséquence des propriétés des éléments et de leurs interrelations. Mais les relations système-éléments sont à double sens. En retour le système affecte les éléments qui le constituent. De la sorte, les éléments ne peuvent être conçus isolément du système qui les englobe : ils sont porteurs d'informations qui les dépassent, et qui concernent la totalité à laquelle ils contribuent. Edgar Morin parle de principe *hologrammatique*, en référence aux hologrammes dans lesquels chaque élément contient la quasi-totalité de l'information de l'objet global. On peut évoquer comme exemple le fait que chaque cellule du corps contient la totalité du patrimoine génétique de l'organisme. De la même façon, on peut considérer l'individu comme une partie de la société, mais en retour la société est présente dans chaque individu, à travers son langage, sa culture, ses normes. On retrouvera dans le chapitre 5 un principe similaire dans les objets fractals, qui possèdent la particularité de présenter un aspect similaire quelle que soit l'échelle à laquelle on les observe, de l'infiniment grand à l'infiniment petit. Chaque partie constitutive véhicule autant d'information que l'ensemble de l'objet. Une idée relativement proche du principe hologrammatique a été formalisée dans le cadre de la théorie des systèmes dynamiques au travers du « principe d'esclavage » (*slaving principle*, voir par exemple Kelso, Ding, et Schöner, 1993). Ce principe énonce que si les éléments constitutifs du système et leur réseau de relation dotent le système de propriétés macroscopiques originales, ces propriétés asservissent en retour le fonctionnement des éléments. Ce principe est essentiel car il explique en quoi une approche analytique de la complexité est impossible. Etudier un élément en soi n'informe pas sur le fonctionnement de cet élément une fois intégré dans le système.

Pour en revenir aux compétences, ce principe suggère que les connaissances intégrées dans la compétence subissent les propriétés macroscopiques de l'ensemble. Une connaissance ponctuelle une fois nichée dans une compétence perd sa singularité initiale. Ce qui laisse entrevoir certains problèmes pour la ré-exploitation de cette connaissance dans la construction d'une autre compétence.

La science traditionnelle a tendance à rechercher derrière le fonctionnement de ses objets d'étude des chaînes linéaires de causalités. Il faut comprendre par là que A est sensé agir sur B, qui lui-même agit sur C. Cette représentation de la causalité est particulièrement mise en avant par Descartes, qui évoque des « chaînes de raisons simples et faciles » nécessaires à la conduite de la pensée rationnelle. A l'inverse, le principe de *rétroactivité* suggère un effet retour sur la cause. La cause agit sur l'effet et l'effet agit sur la cause. On retrouve de telles logiques de fonctionnement dans les systèmes homéostatiques (par exemple, un thermostat régule la production de chaleur en fonction de la température relevée dans la pièce), ou dans le principe du feedback qui a été largement étudié dans le domaine du contrôle moteur (le sujet régule son action en fonction des informations qu'il reçoit sur sa performance). Ce principe correspond à une sorte d'autorégulation. Le principe de rétroaction a particulièrement été développé par la *cybernétique*, que l'on peut définir comme la science des machines autonomes (Wiener, 1971). La cybernétique rompt avec le principe de causalité linéaire en introduisant l'idée de boucle causale. Ce mécanisme d'auto-régulation permet l'autonomie du système, qui n'a donc plus besoin d'un contrôle extérieur. A noter que ce système de rétroaction n'est pas nécessairement

stabilisateur (comme dans le cas du thermostat évoqué plus haut). Il peut aussi jouer un rôle amplificateur, l'effet entraînant une inflation des causes. De telles logiques inflationnistes ont été abondamment décrites au travers de ce filtre théorique dans les domaines économiques et politiques.

Le principe de *récurtivité* dépasse cette notion d'auto-régulation, supposant que les produits et effets du système soient eux-mêmes causateurs de ce qui les produit. Par exemple l'être humain est le produit d'une chaîne de reproduction qui remonte aux origines de la vie, chaîne qui ne peut perdurer que si les humains continuent à y participer en se reproduisant. Sur le registre des relations individus-société, on peut également dire que la société fait des individus des hommes, dotés de langage, de culture et de valeurs, mais qu'en retour ces individus produisent la société et son système de valeur. Si le principe de rétroaction laisse peu ou prou le système inchangé (seuls certains critères de fonctionnement sont altérés sur le court terme), on assiste ici à une logique d'auto-production, une boucle génératrice qui engage le système dans une histoire. Les produits du système sont l'ingrédient majeur de son fonctionnement et de son évolution. Le système n'est plus simplement une entité organisée, mais aussi et surtout organisante. Ce principe est essentiel pour comprendre la construction progressive de la compétence au cours de l'apprentissage. La compétence tire parti de ses productions, échecs ou réussites, pour s'enrichir, évoluer et modifier sa manière d'envisager les problèmes.

Le principe d'*auto-éco-organisation* part de l'idée que le système que l'on étudie est baigné dans un environnement, qui lui même peut constituer un système complexe. On a parfois parlé à ce sujet de « super-système ». Ce concept n'est cependant pas très opérationnel. On peut concevoir en effet qu'un organisme, système complexe, évolue dans un éco-système, qui présente lui aussi les caractéristiques de la complexité. Mais cet organisme est lui-même composé d'organes, que l'on pourra également considérer en tant que systèmes complexes. Organes eux-mêmes composés de cellules, dont la recherche révèle constamment l'infinie complexité. Les concepts de système et super-système sont donc relatifs : tout système présente une organisation hiérarchique, avec une succession de niveaux d'intégration pouvant tous présenter des complexités similaires.

Ainsi les éléments qui composent la compétence (notamment les habiletés, les connaissances, les attitudes) doivent eux-mêmes être considérés comme systèmes complexes. Nous avons par exemple pu montrer que des habiletés de base (comme par exemple la capacité à produire des rythmes réguliers en tapant sur une table) présentaient des indices évidents de complexité (Delignières, Lemoine et Torre, 2004 ; Lemoine, Torre et Delignières, 2006). De même, nous avons mis en évidence la complexité de certaines attitudes telles que l'estime de soi, au travers d'une étude de la dynamique temporelle de l'auto-évaluation (Delignières, Fortes et Ninot, 2004). Ces résultats seront examinés en détail dans le chapitre 5. On a ainsi du mal à considérer qu'un élément, lui-même potentiel système complexe, est plus simple, ou moins complexe que le système plus global auquel il contribue. On a souvent critiqué les travaux réalisés sur les coordinations bimanuelles par Kelso et ses collaborateurs en disant qu'une tâche aussi simple ne pouvait guère renseigner sur les tâches complexes que l'on pouvait notamment retrouver en sport. C'est oublier que les coordinations bimanuelles présentent un niveau de complexité qui n'a rien à envier à d'autres tâches peut-être plus globales.

Une solution pour dépasser les contradictions apparaissant dans les théories scientifiques (et notamment les violations du principe d'identité) est d'accepter de faire dialoguer des notions apparemment contradictoires. Ce principe a été proposé par Edgar Morin sous le néologisme de *dialogique*. Un cas connu de contradiction est celui de la lumière, que

l'on peut considérer, de manière disjonctive, soit comme corpusculaire, soit comme ondulatoire. Si l'on tente de réunir ces deux notions, de nouveaux cadres interprétatifs peuvent s'ouvrir. On peut finalement considérer que la lumière n'est ni un corpuscule, ni une onde (elle ne fait que présenter les caractéristiques de ces deux phénomènes), elle représente autre chose. L'idée fondamentale de la dialogique peut être vue comme une forme réussie de synthèse argumentaire : au terme de la présentation de la thèse et de l'antithèse, offrant deux versants contrastés et a priori irréductibles d'un problème, la synthèse est sensée dépasser l'opposition première en montrant qu'un nouveau regard peut finalement donner un sens inédit au problème. D'autres antagonismes, précédemment relevés, ne peuvent être dépassés que par ce type d'approche. C'est par exemple le cas de l'ordre et du désordre, a priori irréductible dans l'approche traditionnelle. On verra dans les chapitres suivants comment la théorie du Chaos a permis de dépasser cette opposition, en montrant comment processus déterministes et processus stochastiques pouvaient collaborer dans un système complexe, pour assurer la stabilité de son fonctionnement, mais aussi son adaptabilité et sa flexibilité.

La dialogique incite également à articuler interprétations et théories, malgré les différences de points de vue, voire les oppositions déclarées. Dans un travail récent, nous avons par exemple montré comment les théories cognitives du contrôle moteur et l'approche dynamique des coordinations, souvent présentées comme opposées et irréductibles dans l'étude de la motricité, pouvaient cependant apporter des points de vue complémentaires dans le domaine du contrôle des mouvements rythmiques, et construire conjointement un cadre théorique satisfaisant pour une large gamme de tâches (Torre et Delignières, 2008). L'idée ici est d'éviter d'enfermer la réflexion dans une pensée unique en tentant d'articuler des schèmes explicatifs souvent invoqués de manière séparée (pour une argumentation approfondie dans le domaine de la biologie, voir Morange, 2005).

Certaines disciplines scientifiques nouvelles peuvent même être qualifiées en elles-mêmes de dialogiques. C'est notamment le cas des « sciences systémiques », qui tentent de relier ce qui est étudié séparément par les disciplines traditionnelles. Par exemple l'écologie a pour objet les écosystèmes et la biosphère, systèmes complexes composés d'objets traditionnellement étudiés de manière séparée par des disciplines telles que la zoologie, la géographie, ou les sciences physiques. On peut évoquer également les sciences de la terre, associant des disciplines traditionnellement séparées comme la géologie, la météorologie, la vulcanologie, la sismologie dans l'étude de la planète considérée comme un système complexe auto-organisé. Dans un domaine qui nous est plus proche, l'approche dynamique des coordinations motrices se situe au carrefour de disciplines telles que la psychologie, la biomécanique, l'anatomie et la physiologie. A partir de ces propres modèles, elle permet de faire dialoguer ces disciplines (Beek, Peper, et Stegeman, 1995, voir Figure 3).

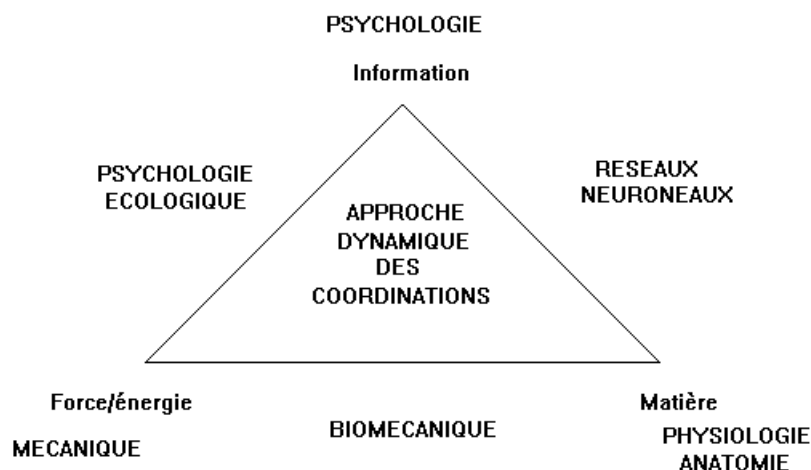


Figure 3: Le positionnement interdisciplinaire de l'approche dynamique des coordinations (d'après Beek, Peper, et Stegeman, 1995).

Certains travaux récents portant sur des hypothèses carrefour, telles que les relations entre stabilité et charge mentale (Temprado, Zanone, Monno, et Laurent, 1999), les relations entre stabilité et efficacité (Holt, Jeng, Ratcliffe, et Hamill, 1995) ou encore l'influence du stress sur la stabilité des coordinations (Deschamps, Nourrit, Caillou, et Delignières, 2004) ont montré que ce principe de dialogue interdisciplinaire pouvait être largement fructueux. Il n'a pas toujours été évident cependant pour les auteurs d'imposer ces problématiques jugées parfois trop éclectiques par les disciplines impliquées.

Dans le cadre de ces approches nouvelles de la complexité, il faut également évoquer le programme de recherche développé sous l'appellation d'« action située ». Ce programme, au carrefour de la sociologie de l'action, de l'anthropologie, des sciences de la cognition et du langage, vise à étudier l'action, en tant qu'accomplissement pratique, singulier, situé socialement et culturellement (Gal-Petitfaux et Durand, 2001). Ce courant de recherche est évidemment une entrée essentielle pour comprendre l'expertise dans un domaine particulier et donc la manière dont la compétence s'exprime dans les environnements complexes. Dans le domaine de l'Education Physique et du sport, cette approche a permis des avancées originales sur l'expertise des enseignants (Flavier, Bertone, Hauw, et Durand, 2002 ; Gal-Petitfaux et Durand, 2001), ou celle des sportifs de haut-niveau (Hauw et Durand, 2007 ; Seve, Poizat, Saury, Durand, 2006).

### **Complexité et imprévisibilité**

Certains des principes précédemment évoqués suggèrent que les objets complexes doivent être resitués dans une perspective temporelle. La récursivité, notamment, inscrit nécessairement le fonctionnement dans une dynamique, une évolution dans le temps. Un système complexe ne peut être compris sans prendre en compte son histoire. C'est notamment pourquoi Morange (2005) précise qu'aucune explication en biologie ne peut se passer d'une perspective évolutionniste. Il s'agit d'une idée assez nouvelle. Voici quelques années, on s'intéressait davantage à l'évolution des produits qu'à celle du système qui les avait produit. On conçoit dorénavant une sorte de couplage entre le système et ses produits, l'un générant l'autre dans une spirale évolutive.

Cette perspective temporelle, cette historicité des systèmes complexes, pose évidemment le problème de la prévision. Peut-on prédire ce que deviendra le système ? A ce niveau les spécialistes du complexe ont tendance à tous apporter la même réponse. Par exemple

Le Moigne (1999) définit la complexité comme « l'irréductibilité à un modèle fini ». Ce qui veut dire qu'il est impossible de proposer un modèle susceptible de « capturer » l'ensemble du système. Il subsistera donc toujours des parties du système, essentielles pour son devenir, qui resteront imperméables à l'analyse. Ceci suppose qu'au-delà d'un certain horizon temporel, le comportement du système ne peut plus être prédit.

D'une manière générale, le fait d'être constitué d'un grand nombre d'éléments en interaction ne suffit pas en effet pour qualifier un système de complexe. On réserve ce qualificatif pour les systèmes dont on ne peut prévoir de manière certaine le comportement ou l'évolution. Les systèmes complexes résistent donc à l'idée souvent répandue qu'une connaissance parfaite des composants élémentaires d'un système devrait permettre d'en prévoir le comportement. Nous avons vu précédemment qu'il est par exemple possible de mettre en équation la chute d'un corps au moyen des principes de la physique newtonienne. Le système étudié est alors complètement prévisible, dès lors qu'on en connaît les conditions initiales. Un système complexe ne peut en général être mis en équation, et la seule manière d'avoir une idée de son comportement futur est l'expérience ou la simulation. On verra plus loin que les théoriciens du Chaos font de l'imprévisibilité, au travers du principe de sensibilité aux conditions initiales, un des critères majeurs de la complexité.

En fait, un système complexe offre à un moment donné plutôt une gamme d'avenirs possibles qu'une possibilité de prévision certaine. On peut davantage dire ce qu'il ne sera pas qu'affirmer ce qu'il deviendra. Ceci a une conséquence théorique tout à fait passionnante : le réel, c'est-à-dire ce qui s'est effectivement actualisé, ne constitue qu'une solution parmi un éventail de possibles. On considère par exemple que les espèces que nous connaissons, et notamment l'espèce humaine, ne constituent qu'une des possibilités parmi un éventail potentiel beaucoup plus important. C'est pourquoi certains états des systèmes complexes sont qualifiés de *contingents* : ils ne présentent aucun caractère de nécessité causale, ils ne sont pas les conséquences obligatoires de conditions préalables, et la réalité aurait pu être toute différente.

Ces remarques sont importantes, car un des critères de scientificité de l'épistémologie classique liait étroitement explication et prédiction. Une explication pertinente devait permettre de prédire le futur du phénomène observé, ou son évolution en fonction de telle manipulation expérimentale. Si l'on s'intéresse à des systèmes complexes, on voit que la prédiction devient impossible. Et si l'on considère que la plupart des objets actuellement investigués par les sciences peuvent être considérés comme complexes, on peut se demander si d'une manière générale une science doit être nécessairement prédictive.

### **Le piège réductionniste**

Le réductionnisme est une conception épistémologique visant à réduire la nature complexe des choses à une somme de principes fondamentaux. On attribue généralement à Descartes l'énoncé des principes du réductionnisme : selon lui, le monde est une machine et l'étude de chacun de ses composants devrait permettre la compréhension de l'ensemble. Il s'agit donc de décomposer les problèmes complexes en sous-problèmes plus accessibles et à adopter une approche logique et progressive pour trouver des solutions efficaces.

La pensée scientifique a longtemps été imprégnée de l'héritage de la pensée cartésienne, et notamment du primat du raisonnement analytique. Il convient de conserver une certaine mesure dans la critique de cette approche cartésienne, qui a supporté l'essor des sciences et de la technologie durant des siècles. Mais cette approche présente des effets pervers. Elle tend à disséquer les problèmes, elle atomise les questions. Bien qu'ayant été aux origines de la démarche scientifique, cette approche se montre impuissante face à la complexité.

Divers courants de pensée ont tenté de briser cette logique analytique. Historiquement, la psychologie gestaltiste a défendu l'idée selon laquelle les phénomènes devaient être considérés comme des ensembles structurés indissociables (les formes) et non comme une simple addition ou juxtaposition d'éléments. Le structuralisme a amené des conceptions encore plus avancées, voyant dans le réseau de relations tissées entre les éléments d'un système la matrice essentielle de compréhension du fonctionnement global. On comprend que dans cette conception, l'ensemble représente davantage que la somme des éléments qui le constituent. La théorie des systèmes dynamiques, mettant en évidence des propriétés macroscopiques des systèmes, émergeant des interactions multiples entre les éléments constitutifs, mais irréductibles aux éléments eux-mêmes a poussé encore plus loin la critique du réductionnisme cartésien.

Il n'en demeure pas moins que le réductionnisme reste un moyen commode, naturel, d'envisager la complexité, et à ce titre représente un redoutable piège épistémologique. Cette remarque est essentielle : découper la complexité en éléments plus simples, mieux cernables, c'est avant tout du bon sens. C'est permettre le raisonnement quand la complexité de l'ensemble tend à obscurcir le jugement. C'est justement parce que c'est le bon sens qu'il faut s'en méfier.

Un des aspects du réductionnisme qui m'a principalement intéressé renvoie évidemment aux théories de l'apprentissage. Dans la conception traditionnelle de l'apprentissage, les connaissances sont considérées comme des entités isolables. Il est possible d'en déterminer les contours, de proposer des situations d'apprentissage en assurant exclusivement l'acquisition, et des situations d'évaluation permettant d'en juger la maîtrise. On peut même à loisir les décomposer en sous-connaissances, plus élémentaires, supposées de ce fait pouvoir être acquises plus aisément.

On pourra trouver un exemple d'une telle pensée associationniste dans un article de Famose (1985), consacré à l'apprentissage des habiletés complexes. Selon l'auteur, l'exercice d'une habileté complexe ne renvoie pas à un contrôle différencié des éléments qui la constituent. Le sujet n'a pas conscience de l'ensemble des processus qu'il met en œuvre pour réaliser la tâche, et son attention se limite le plus souvent au but qui a été assigné. Cependant lors de l'apprentissage l'auteur estime nécessaire de procéder à une décomposition de la tâche complexe. Il s'agit de fragmenter la tâche principale en sous-tâches. Cette fragmentation est réitérée de manière pyramidale, chaque sous-tâche étant à nouveau sub-divisée jusqu'à atteindre un niveau de simplicité accessible aux débutants.

Selon l'auteur, cette démarche repose sur quatre principes essentiels :

- « 1. La tâche principale se décompose en sous-tâches pré-requises. L'analyse se déroule ainsi du but principal aux sous-buts initiaux reliant ainsi les habiletés terminales aux habiletés initiales.
2. Les sous-tâches, ou tâches élémentaires, sont indépendantes. Elles sont chacune constituées par un sous-but indépendant.
3. Dans l'acquisition de l'habileté terminale, les sous-tâches s'additionnent.
4. Chaque sous-tâche suppose l'acquisition d'une habileté particulière. » (Famose, 1985).

Ces principes constituent le bréviaire de l'approche associationniste de l'apprentissage. La complexité est atomisée, fragmentée, et l'apprenant n'est confronté qu'à des éléments simples, isolés. L'apprentissage d'une habileté complexe est conçu comme la simple addition d'habiletés élémentaires. On peut ensuite discuter de la nature de cette « addition ». Il ne s'agit certainement pas pour Jean-Pierre Famose d'une simple juxtaposition, mais plutôt d'un processus d'intégration progressive dans des entités plus complexes. Le principe essentiel reste cependant la segmentation, et une démarche progressive du simple au complexe, selon les préceptes classiques du cartésianisme.

Un autre exemple concerne le débat de l'apprentissage de la lecture, que l'on a vu récemment ressurgir, entre les tenants de l'approche globale, empreinte de gestaltisme, et les défenseurs de la méthode « traditionnelle », syllabique, issue de l'associationnisme. D'un côté, l'appropriation globale des mots et de leur sens, de l'autre, le déchiffrement analytique, lettres, puis syllabes, puis mots. Ce sont des avancées scientifiques, relative à la psychologie de la perception et de la connaissance, qui ont incité les pédagogues au cours du 20<sup>ème</sup> siècle à dépasser l'approche syllabique, peut-être plus intuitive (voir les remarques évoquées dans l'introduction sur Bachelard et l'intuition première), pour proposer une approche nouvelle, visant à une approche globale des énoncés. Il est frappant d'ailleurs que les avocats de la méthode traditionnelle, au plus haut niveau de l'Etat, aient surtout fait appel à des arguments « de bon sens » : « C'est ainsi que nos grands-parents ont appris », « ils faisaient moins de fautes d'orthographe que nos enfants », et « cette méthode n'a jamais empêché personne d'apprendre à lire » ... Ce qui est en jeu dans ce débat, c'est bien deux modes d'appréhension de la complexité : d'une part le bon sens qui incite à subdiviser pour maîtriser avant tout les éléments, et d'autre part l'idée que le tout possède des propriétés qui ne peuvent être appréhendées que par l'exercice de sa globalité.

Cette conception atomiste de l'apprentissage a laissé des marques profondes dans l'Ecole. Elle a été à l'origine de la pédagogie par objectifs, qui a largement marqué l'éducation dans les années 80 (pour une analyse critique, voir Reboul, 1980 ; Durand et Arzel, 2002). Dans ce cadre, les connaissances sont acquises, et accumulées comme des perles enfilées à un collier. Les programmes disciplinaires, listant les concepts et connaissances dont l'acquisition devra être assurée dans telle année scolaire, renvoient souvent à cette conception linéaire de l'apprentissage.

Cette conception est également à la base du concept de *leçon*, si chère à notre système éducatif qu'elle constitue l'épreuve reine des concours d'agrégation. La leçon suggère un dispositif particulièrement ingénieux, permettant au terme de quelques situations d'apprentissage particulièrement bien choisies d'assurer l'acquisition définitive de quelques connaissances essentielles. Nous avons défendu l'idée selon laquelle la pertinence de l'acte éducatif se situait sans doute à une échelle de temps plus grande, et notamment pour l'enseignement de l'éducation physique au niveau des cycles qui délimitent une formation spécifique à une activité donnée (Delignières et Garsault, 2004).

Le réductionnisme a néanmoins l'avantage de se prêter à une rationalisation, voire une taylorisation de l'enseignement. On prend le programme, on le divise en heures par semaines et on l'étale sur l'année (de Rosnay, 1998). Ceci permet un emploi rassurant du temps scolaire. Reste à savoir si cette vision de l'apprentissage correspond à une quelconque réalité dans le processus d'acquisition des connaissances, et si les connaissances ainsi accumulées peuvent avoir quelque utilité pour les futurs adultes que l'école doit former.

Je reviendrai plus loin sur ces problèmes d'enseignement, en rapport avec les compétences. Ce que je veux pointer ici, c'est le fait que la pensée réductionniste constitue un piège face aux problèmes complexes, l'exemple même de ces théorisations hâtives, armées d'un robuste sens commun, qui tendent à obscurcir le raisonnement et à freiner une approche distanciée des phénomènes.

Il ne faudrait pas cependant conclure que la pensée réductionniste est à rejeter aux poubelles de la pensée scientifique. En étudiant les phénomènes en les réduisant à leurs composants élémentaires, elle permet de traiter avec une efficacité certaines des problèmes que l'on pourrait qualifier de compliqués. On a vu que dans ce cas, il suffit de s'armer de patience pour pousser l'analyse et la décomposition avec suffisamment de profondeur. Il suffit de déplier le problème, pour en isoler les éléments. Mais cette approche ne convient plus face à un

problème complexe : il sera dans ce cas nécessaire d'effectuer des aller-retour entre l'élémentaire et le global, en prenant en compte les propriétés de chaque niveau et leurs influences respectives.

## Chapitre 4

### Complexité et Chaos

Dans le chapitre précédent, j'ai privilégié une approche de la complexité principalement inspirée des travaux d'Edgar Morin et de ses collègues. Je voudrais maintenant évoquer un autre champ théorique, qui a profondément influé nombre de disciplines scientifiques ces dernières années. Il s'agit de la théorie du Chaos et de la théorie des systèmes dynamiques. On sait que dans le domaine de l'étude de la motricité, ces théories ont notamment débouché sur l'approche dynamique des coordinations, qui depuis une vingtaine d'année apporte une vision rénovée du contrôle moteur, contestant les classiques approches cognitivistes. Il est hors de propos dans le cadre de cet ouvrage de se lancer dans une présentation détaillée de ces courants théoriques, qui se présentent comme une myriade de modèles déclinés dans des disciplines diverses. Je me contenterai ici de présenter certaines données théoriques liées à la problématique de la complexité<sup>8</sup>.

#### Le Chaos

La notion de Chaos est maintenant largement diffusée en dehors des lieux de recherche. Les représentations que l'on en a sont néanmoins assez floues. J'ai évoqué dès l'introduction de ce texte le problème de ces termes qui résonnent fortement dans le sens commun, et dont on a bien du mal à asseoir le sens scientifique. Le terme « chaos » fait naturellement penser à un phénomène complètement aléatoire, incontrôlable, et de ce fait impossible à caractériser ou à maîtriser.

De tels phénomènes totalement aléatoires existent et sont dénommés *processus stochastiques*. Un processus stochastique peut être représenté par une série de valeurs totalement indépendantes les unes des autres : c'est-à-dire que la valeur actuelle ne peut absolument pas être prédite par la valeur précédente. Chaque valeur est en quelque sorte « tirée au sort ». La figure 4 illustre le caractère imprévisible de ce type de processus. Et encore cette série est confinée dans une certaine étendue, ce qui interdit en pratique de voir apparaître des valeurs extrêmes.

C'est cette image que l'on a généralement quand on pense au chaos. Et l'on peut se demander alors ce que l'on peut dire, connaître, théoriser sur ce type de variable, dont la génération ne repose que sur des tirages au hasard successifs. Longtemps les scientifiques ont

---

<sup>8</sup> Ce chapitre et celui qui suit ne peuvent qu'ébaucher la présentation de ces cadres théoriques encore récents et parfois difficiles d'accès. Le lecteur intéressé et désireux d'approfondir pourra consulter certains ouvrages de vulgarisation absolument remarquables sur ce sujet. Voir notamment Gleick (1991), Thuan (1998) et Gribbin (2006).

considéré que des fluctuations de ce type ne correspondaient qu'à des perturbations extérieures au système étudié et sans intérêt, et ont cherché à les éliminer par certaines procédures statistiques. Si par exemple on fait la moyenne de la série présentée en figure 4, on obtient à peu près zéro, ce qui représente la valeur autour de laquelle semble fluctuer aléatoirement le processus.

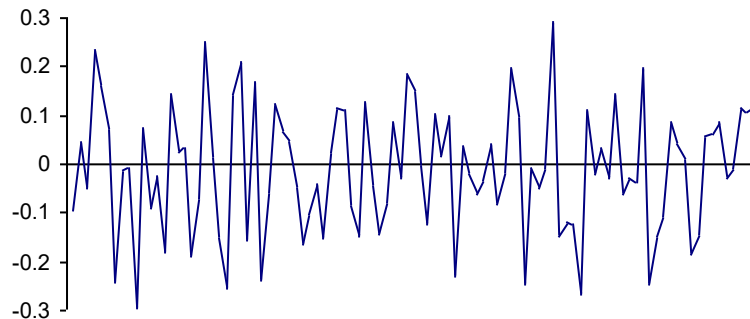


Figure 4 : Un processus stochastique. Série aléatoire de 100 valeurs.

Il n'est cependant pas nécessaire de se confier au hasard pour obtenir de telles évolutions. On peut ici développer un exemple introductif assez simple, la *fonction logistique*. Cette fonction est extrêmement simple, et obéit à l'équation suivante :

$$x_{n+1} = kx_n(1 - x_n)$$

Il s'agit d'une fonction itérative, c'est-à-dire que chaque valeur  $x_n$  permet de calculer la valeur suivante dans la série ( $x_{n+1}$ )<sup>9</sup>. On appelle itération le fait de calculer une nouvelle valeur. Comme on le voit, cette équation ne contient guère de mathématiques compliquées : la valeur courante est simplement multipliée par son complément à l'unité, et par une constante  $k$ . Cette fonction a notamment été utilisée pour modéliser l'évolution des populations. On comprend que cette fonction est entièrement *déterministe* : c'est-à-dire que connaissant la valeur initiale, notée  $x_0$ , et pour une valeur donnée du paramètre  $k$ , il est possible de prédire avec précision les valeurs obtenues lors des itérations successives.

La figure 5 permet de visualiser le comportement de cette fonction pour différentes valeurs de  $k$ . Pour les valeurs inférieures à 3, la série converge vers une valeur unique (dépendante de  $k$ ) quelle que soit la valeur initiale  $x_0$ . La convergence tend cependant à être de plus en plus tardive, à mesure que  $k$  approche de 3. On voit ainsi que pour  $k = 3$ , la série oscille assez longtemps autour de sa valeur finale, avant de se stabiliser. Entre  $k = 3$  et  $k = 3.46$ , la série oscille indéfiniment entre deux valeurs qui ne dépendent pas de la valeur initiale  $x_0$ , mais uniquement de  $k$ . Si l'on augmente encore  $k$ , la série oscille entre quatre puis huit valeurs, toujours indépendantes de la valeur initiale  $x_0$ . Si par contre  $k$  est supérieur à 3.57, le comportement de la série adopte un comportement d'apparence aléatoire (voir Figure 5, dernier graphique pour  $k = 3.9$ ), ressemblant à celui observé pour un processus stochastique (voir Figure 4).

<sup>9</sup> On a davantage l'habitude, dans le système scolaire, de travailler sur des fonctions de forme  $y = f(x)$ . On peut souvent passer assez facilement d'une fonction de ce type à son équivalent itératif. Par exemple si l'on a  $y = ax + b$ , alors  $x_0 = b$  et  $x_{n+1} = x_n + a$ .

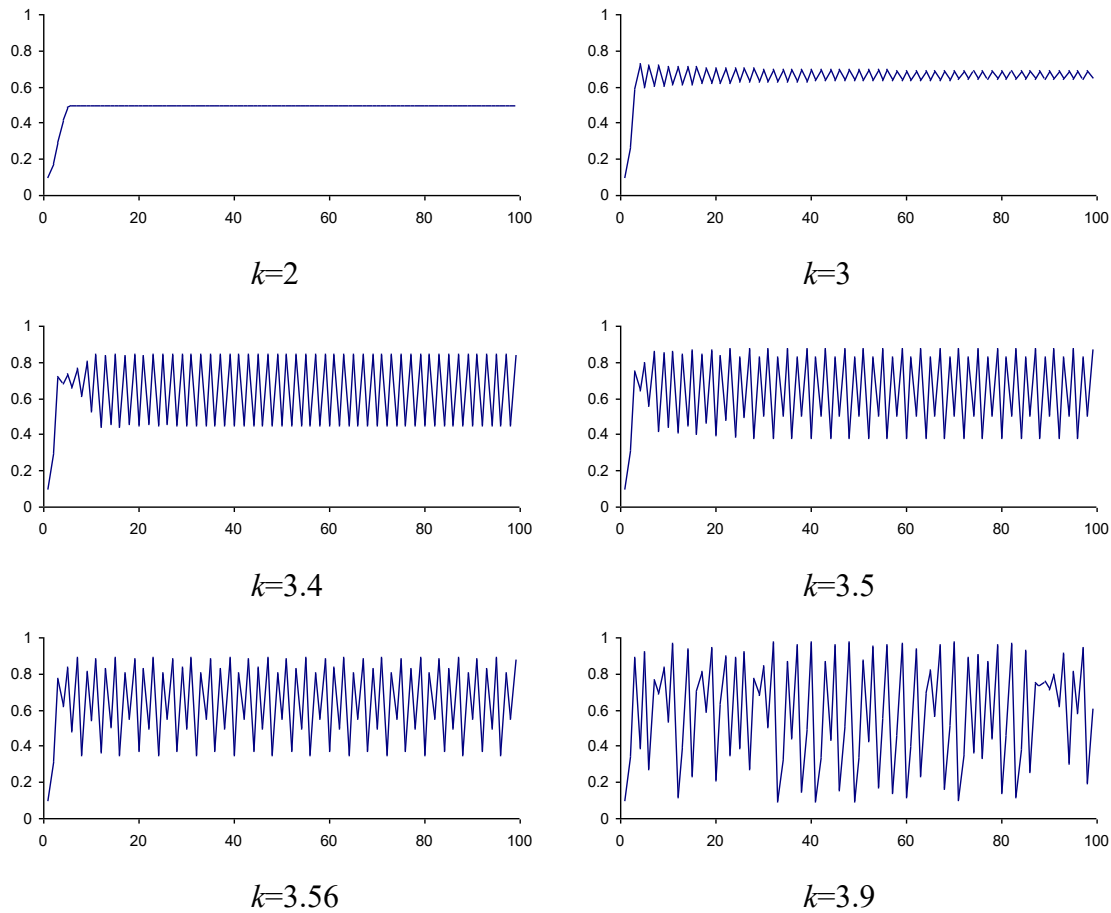


Figure 5 : Tracés de la fonction logistique  $x_{n+1} = kx_n(1 - x_n)$  pour six valeurs de la constante  $k$ . La valeur initiale  $x_0$  est fixée à 0.1. Les 100 premières itérations ont été représentées.

Il est important de noter la nuance : cette série a uniquement une apparence aléatoire. Car on a vu précédemment qu'elle était en fait parfaitement déterministe. Pour une valeur initiale  $x_0 = 0.1$  et  $k = 3.9$ , on peut prédire par exemple que la valeur prendra inmanquablement la valeur 0.36362041 à l'itération 500 et 0.13434983 à l'itération 12000. Un processus chaotique, puisque c'est bien de cela qu'il s'agit, est un processus qui a l'apparence d'un processus aléatoire, mais qui en fait obéit à une équation parfaitement déterministe (c'est pourquoi on parle souvent de *Chaos déterministe*).

Cette propriété ne suffit cependant pas à définir le Chaos. La propriété essentielle de ce type de processus est ce que l'on a appelé la *sensibilité aux conditions initiales*. Cette propriété est clairement illustrée par la fonction logistique que nous avons vu précédemment. Pour des valeurs de  $k$  supérieures à 3.57, la fonction a un comportement chaotique. Dans ce cas, une variation minimale de la valeur initiale modifie profondément la série obtenue. La figure 6 a été calculée pour une valeur de  $k = 3.9$ , et contraste les séries obtenues pour deux valeurs initiales voisines :  $x_0 = 0.8$ , et  $x_0 = 8.001$ . On voit que les deux séries conservent sur le court terme un comportement similaire. Des différences mineures sont cependant visibles à partir de la dixième itération, et au-delà de la quinzième les deux séries ont un comportement complètement indépendant.

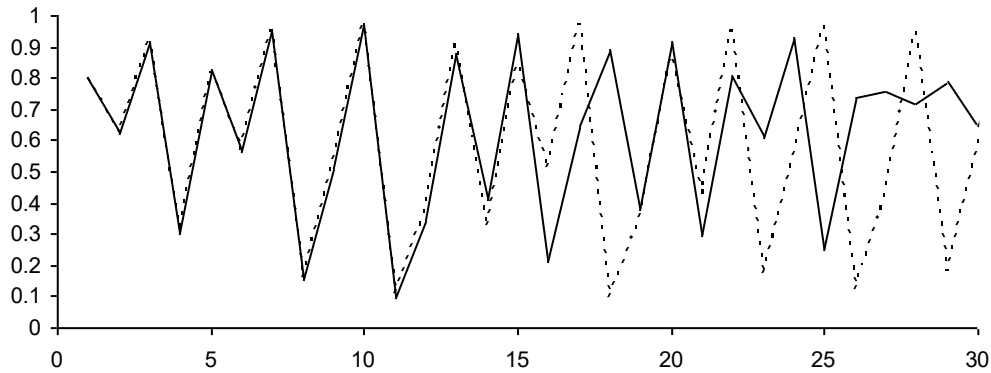


Figure 6 : La dépendance aux conditions initiales. Tracés de la fonction logistique pour  $k = 3.9$ , pour deux valeurs initiales voisines :  $x_0 = 0.8$  (trait plein), et  $x_0 = 8.001$  (pointillés).

La sensibilité aux conditions initiales signifie que des différences infimes à un moment donné donneront naissance à des trajectoires très largement divergentes. Dans un système déterministe non chaotique, toutes les trajectoires démarrant suffisamment proches l'une de l'autre conservent des profils d'évolution voisins. De ce fait, une erreur de mesure suffisamment faible dans les conditions initiales n'affectera pas les prévisions déterministes. A contrario, dans les systèmes chaotiques, une prédiction des valeurs futures ne serait possible que si les conditions initiales pouvaient être mesurée avec une précision infinie, ce qui ne peut jamais être pratiquement réalisé.

On a pu croire par exemple à un moment qu'à condition de se doter d'ordinateurs suffisamment puissants et de collecter suffisamment de données, les prévisions météorologiques pourraient atteindre une précision maximale. Les progrès dans le terme des prévisions peuvent toujours laisser planer l'illusion que l'on puisse parvenir un jour dans ce domaine à une prévisibilité totale. Mais parce que l'on sait maintenant que les phénomènes atmosphériques ont un caractère chaotique, et notamment présentent une forte sensibilité aux conditions initiales, on peut affirmer que la prévision météorologique sera toujours impossible au-delà du court terme, quelle que soit la puissance des ordinateurs dédiés au problème.

Il ne faudrait pas imaginer non plus que le Chaos prenne nécessairement la forme des sautillements désordonnés de la fonction logistique. Le météorologue Lorenz a travaillé sur un système dynamique qui a joué un rôle essentiel dans le développement de la théorie. Ce système est composé de trois équations différentielles couplées :

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = \rho x - y - xz \\ \dot{z} = xy - \beta z \end{cases}$$

Dans ces équations la notation pointée correspond à la vitesse ( $\dot{x}$  est la vitesse de  $x$ ), et  $\sigma$ ,  $\rho$  et  $\beta$  sont des constantes. On dit que ces équations sont couplées car la détermination d'une variable fait systématiquement appel à l'une ou aux deux autres. Ce système d'équations est utilisé de manière répétée pour générer les coordonnées  $x$ ,  $y$ , et  $z$  représentant le déplacement d'une particule dans l'espace. La figure 7 présente le résultat obtenu pour des valeurs données des paramètres du système d'équations.

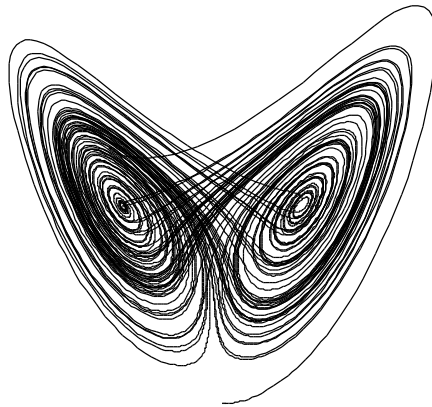


Figure 7 : L'attracteur de Lorenz. On a utilisé les valeurs suivantes  $\sigma = 10$ ,  $\rho = 28$ ,  $\beta = 8/3$

Le système de Lorenz, on le voit, possède une dynamique très riche et assez particulière. La particule suit une trajectoire qui « exploite » deux plans de l'espace, dans lesquels elle trace des orbites circulaires. Les trajectoires successives dans un même plan sont toujours différentes et ne se coupent jamais. Périodiquement, la particule va « sauter » d'un plan à l'autre, sans que ce comportement puisse être prévu. A chaque boucle, on ne sait pas si la particule va rester dans le plan actuel ou si elle va transiter vers l'autre. Le comportement de ce système présente toutes les caractéristiques du Chaos, et notamment la sensibilité aux conditions initiales. Il permet surtout d'illustrer le paradoxe du Chaos déterministe : si le déplacement de la trajectoire était réellement aléatoire, c'est l'ensemble de l'espace qui serait exploré au bout d'un certain temps. On voit ici que certaines régions de l'espace sont privilégiées, et d'autres complètement ignorées. Le comportement paraît statistiquement prévisible. Mais pour autant, la position de la particule à un quelconque temps  $t$  ne peut absolument pas être prévue. Tout juste peut-on dire où elle a peu de chances de se trouver.

Dans un système chaotique, des trajectoires issues de conditions initiales voisines tendent à diverger de manière exponentielle. Plus précisément, un système chaotique amplifie les erreurs sur les conditions initiales selon une loi exponentielle  $e^{t/\tau}$ . Dans cette expression  $\tau$  est un temps caractéristique du système appelé *horizon de Lyapunov*<sup>10</sup>. L'horizon de Lyapunov décrit la fenêtre temporelle dans laquelle la prédiction sur le comportement du système demeure possible. Le système sera d'autant plus chaotique que son horizon sera limité. Par contre, certains systèmes présentent des horizons tellement longs, du moins à l'échelle du temps humain, que l'on a pu longtemps les considérer comme non chaotiques. On a ainsi assez récemment montré que le système solaire était chaotique. Dans ce cas cependant les prévisions demeurent possibles pendant à peu près 200 millions d'années.

Lorenz a popularisé cette dépendance aux conditions initiales par une métaphore connue sous le nom « d'effet papillon » : *le battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer une tornade au Texas ?* Arrivé à ce point, le lecteur aura compris que dans cette question, il n'est pas question de supposer que le battement d'aile puisse réellement constituer la cause de l'ouragan, au sens classique. Le battement d'aile est cette petite différence dans les conditions initiales, qui pourrait le cas échéant engendrer un comportement catastrophique dans un système essentiellement chaotique. Mais comme Lorenz le précise lui-même, le battement d'aile peut tout autant empêcher la survenue du cyclone...

---

<sup>10</sup> L'exposant de Lyapunov est  $1/\tau$ , soit l'inverse de l'horizon. C'est la mesure la plus classiquement utilisée de la sensibilité aux conditions initiales.

Ce qu'il faut donc retenir principalement de cette parenthèse sur le Chaos, c'est une nouvelle argumentation sur le caractère imprévisible des systèmes complexes. La sensibilité aux conditions initiales suggère qu'un système complexe puisse, à partir de situations de départ quasi similaires, déboucher sur des histoires radicalement différentes. Et ces différences ne doivent pas être conçues comme des accidents, le résultat d'influences exogènes. C'est la dynamique chaotique, en soi, qui génère ces divergences. Comme je l'ai dit précédemment, on a souvent considéré ces fluctuations d'apparence aléatoire comme le résultat de perturbations extérieures au système étudié. Mais dans les exemples présentés ici, il n'existe aucune perturbation exogène. C'est le système lui-même qui génère le chaos.

Ces considérations théoriques ne sont pas si éloignées des phénomènes qui entourent notre quotidien. Tout enseignant a connu ces cours qui ne se passent pas bien, où les élèves n'accrochent pas, alors que rien ne permettait de prévoir cette évolution. La classe présente une telle complexité que son évolution ne saurait être parfaitement prévisible. De même, les contre-performances des sportifs de haut-niveau sont parfois difficiles à expliquer. Et il est peut-être vain de vouloir toujours rechercher une explication simple dans des environnements si complexes. Il est cependant clair qu'une théorie qui se serait contenté de démontrer l'imprévisibilité des phénomènes n'aurait eu que peu d'utilité. La théorie des systèmes dynamiques a tenté de caractériser qualitativement les comportements à long terme des systèmes complexes.

### **La théorie des systèmes dynamiques**

Si les systèmes complexes ont un comportement imprévisible, le problème ne peut être de trouver une solution exacte aux systèmes d'équations qui les caractérisent. L'objectif de la théorie des systèmes dynamiques sera plutôt de trouver une réponse qualitative et probabiliste : le système va-t-il se stabiliser sur le long terme ? Dans l'affirmative, quels sont les états stationnaires possibles ? Peut-on prédire l'état finalement adopté ? Le comportement à long terme du système dépend-il des conditions initiales ? L'idée est donc de savoir, du moins partiellement, c'est-à-dire statistiquement, ce qui va émerger du Chaos. On a vu précédemment que la connaissance des éléments individuels d'un système chaotique n'était d'aucune utilité. C'est au niveau des propriétés macroscopiques du système que la théorie va tenter de trouver des réponses.

Alors que les lois classiques de la thermodynamique prévoient un accroissement de l'entropie des systèmes complexes et une dérive vers le désordre, dans certains cas le comportement des systèmes complexes évolue vers l'ordre. C'est-à-dire que les systèmes adoptent des états relativement stables, de manière relativement durable. L'objectif de la théorie des systèmes dynamique est de modéliser ces comportements et leur évolution dans le temps.

L'un des postulats majeurs de cette théorie est qu'il est possible de rendre compte du comportement du système, à un niveau macroscopique, par des *variables collectives* appelées encore *paramètres d'ordre*. Le paramètre d'ordre, construit par le chercheur, vise à "capturer", dans une mesure unique, le comportement du système, c'est-à-dire la coordination des différents éléments qui le constituent. Par exemple, dans l'exemple connu des coordinations bimanuelles, on rend compte de la coordination entre les deux mains par la *phase relative*, qui représente à tout moment le décalage entre les positions de chaque main au sein de leurs cycles respectifs. Ainsi Kelso Holt, Rubin, et Kugler (1981) montrent que lorsque l'on demande à des sujets d'osciller simultanément les deux index, deux modes de coordination émergent spontanément, caractérisés par une phase relative de  $0^\circ$  pour le pattern en phase, et de  $180^\circ$  pour le pattern en antiphase (Figure 8). Ils montrent en outre que le pattern en phase est intrinsèquement plus stable que le pattern en antiphase.

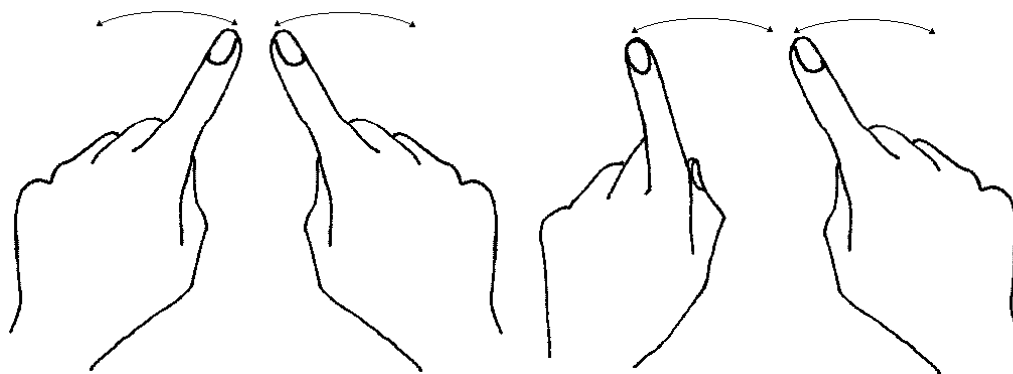


Figure 8: La tâche de coordination bimanuelle de Kelso Holt, Rubin, et Kugler (1981). Le schéma de gauche représente la coordination en phase (décalage de phase 0 degrés), le schéma de droite la coordination en antiphase (décalage de phase 180 degrés).

L'analyse porte alors sur la dynamique (c'est-à-dire l'évolution dans le temps) du paramètre d'ordre, plutôt que sur les composantes du système. Le paramètre d'ordre définit un niveau d'analyse, macroscopique, possédant sa propre pertinence et ses propres lois. Cette variable collective « capture » l'ensemble de la coordination du système, dans un indicateur ne comprenant qu'un faible nombre de degrés de liberté. On substitue ainsi une dynamique à faible dimension à la dynamique hautement dimensionnelle du système, en d'autres termes un indicateur simple pour rendre compte du complexe.

Un système tend à adopter, sous l'influence des contraintes qui le constituent et/ou qui pèsent sur lui, un certain type de comportement, que l'on peut qualifier de naturel, spontané ou préférentiel. C'est à ces coordinations préférentielles que l'on donne le nom d'*attracteurs*. Dans l'exemple des coordinations bimanuelles, les patterns en phase et en antiphase constituent donc les attracteurs du système, du moins lorsque la fréquence d'oscillation reste modérée.

On doit noter à ce niveau qu'il existe plusieurs types d'attracteurs. Les attracteurs « point fixe » sont caractérisés par le fait que la variable collective tend à se stabiliser autour d'une valeur donnée, quel que soit l'état initial. C'est le cas pour les attracteurs en phase et en antiphase des coordinations bimanuelles. On retrouve une logique similaire dans l'exemple simple du pendule pesant, qui finit si l'on n'entretient pas ses oscillations à se stabiliser dans une position « de repos » en verticale basse. Les attracteurs « cycle limite » sont caractérisés par la reproduction cyclique d'une trajectoire. Ces attracteurs sont typiques du comportement des oscillateurs auto-entretenus<sup>11</sup>, et ont été amplement utilisés pour rendre compte du contrôle des activités rythmiques (Beek et Beek, 1988 ; Delignières, Nourrit, Deschamps, Lauriot, et Caillou, 1999). On représente souvent ces attracteurs dans l'espace des phases, une représentation abstraite obtenue par exemple en rapportant dans un plan la position du système en abscisses et la vitesse en ordonnées. La figure 9 montre par exemple l'attracteur cycle limite d'oscillations répétées de l'avant-bras.

On distingue enfin les « attracteurs étranges », dont l'attracteur de Lorenz (voir Figure 7) donne un exemple représentatif. Ces attracteurs ne présentent pas la prévisibilité des attracteurs « cycle limite », mais se développent cependant selon une trajectoire repérable. Ces attracteurs étranges sont typiques des systèmes chaotiques. Notons enfin que la nature des attracteurs dépend de la variable retenue pour l'analyse. D'un certain point de vue, un système peut présenter une dynamique de point fixe, alors qu'une autre variable du système suggèrera

<sup>11</sup> Un oscillateur auto-entretenu compense les pertes d'énergie (liées aux frictions, ou à la résistance de l'air) en injectant périodiquement de l'énergie supplémentaire. Ceci permet de maintenir les oscillations à une amplitude stable.

plutôt une dynamique de cycle limite. Et un attracteur cycle limite peut parfois n'être que la projection dans un plan d'un attracteur étrange plus complexe.

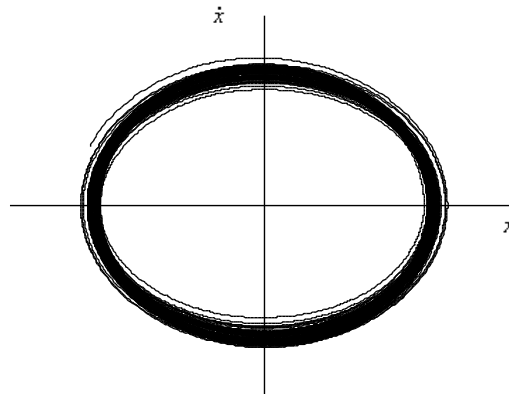


Figure 9 : Représentation d'un attracteur cycle limite dans l'espace des phases. On rapporte la position de l'oscillateur sur l'axe des abscisses et sa vitesse sur l'axe des ordonnées. On voit que dans cet espace abstrait, le comportement du système est caractérisé par la reproduction à peu près régulière d'une trajectoire cyclique.

On observe parfois des modifications qualitatives brutales du comportement des systèmes, sous l'influence de certains paramètres. Par exemple, lorsque l'on demande à un sujet de réaliser la tâche de coordination bimanuelle en antiphase et que l'on augmente progressivement la fréquence d'oscillation, on observe inévitablement une désorganisation de la coordination, puis une transition vers le pattern en phase. Cette transition survient à une fréquence critique, propre au système étudié. On appelle ces phénomènes *bifurcations* ou *transitions de phase*.

Haken, Kelso et Bunz (1985) ont proposé un modèle rendant compte de la dynamique de la phase relative dans les tâches de coordination bimanuelle. Ce modèle considère chaque index comme un oscillateur auto-entretenu. Les deux oscillateurs sont mutuellement couplés par une fonction tendant à réduire leurs différences en termes de position et de vitesse. Les auteurs montrent que l'on peut rendre compte de la dynamique résultant de ce modèle par une fonction potentiel  $V(\varphi)$  :

$$V(\varphi) = -a \cos(\varphi) - b \cos(2\varphi)$$

Où  $\varphi$  représente la phase relative entre les deux index. On peut définir le potentiel comme la propension de la variable analysée (ici la phase relative) à modifier sa propre valeur. La fonction potentiel décrit les valeurs de potentiel pour toutes les valeurs possibles de la variable. La figure 10 montre la forme de cette fonction pour  $a = b = 1$ .

Comme on peut le voir, la fonction potentiel présente deux minima pour  $\varphi = 0^\circ$  et  $\varphi = 180^\circ$ , c'est-à-dire les deux patterns identifiés comme attracteurs spontanés de la coordination. Le potentiel est plus faible pour le premier attracteur que pour le second, ce qui correspond à la différence de stabilité intrinsèque classiquement reportée entre ces deux patterns. Ces deux puits de potentiels définissent des zones de stabilité dans lesquelles la coordination vient se réfugier, quelles que soient les conditions initiales. Ces deux attracteurs sont séparés par des zones repoussantes, au niveau desquelles le potentiel est maximum. Ces repoussants (par exemple  $\varphi = 90^\circ$ ) représentent des patterns particulièrement instables. Les repoussants définissent des bassins d'attraction : toute condition initiale se situant à l'intérieur d'un bassin d'attraction amène une convergence spontanée vers l'attracteur situé au fond du bassin. On peut concevoir la *dynamique intrinsèque* du système (c'est-à-dire les tendances spontanées de son comportement) par la trajectoire d'une bille qui tomberait dans ce *paysage*

*des attracteurs* : quelles que soient les conditions initiales de sa chute, la bille tendra naturellement à rejoindre l'une des vallées, c'est-à-dire l'une des coordinations spontanées du système.

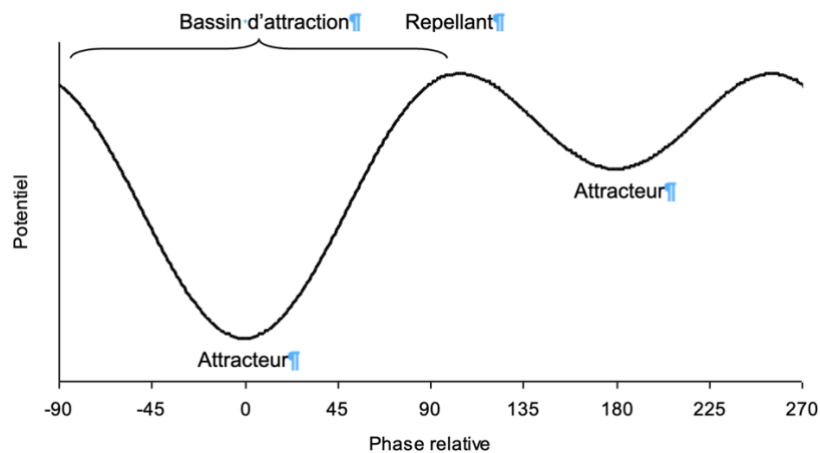


Figure 10: Fonction potentiel du modèle de Haken, Kelso et Bunz (1985).

Les paramètres  $a$  et  $b$ , et notamment leur rapport, rendent compte de la fréquence d'oscillation. La fonction représentée dans la figure 10 a été calculée pour  $b/a = 1$ . Ce rapport correspond à une fréquence d'oscillation modérée, et le potentiel fait donc apparaître les deux attracteurs. Comme l'indique la figure 11, la diminution du rapport  $b/a$  entraîne un comblement progressif de l'attracteur  $180^\circ$ , qui est achevée pour  $b/a = 0.25$ . Au-delà ne subsiste qu'un seul minimum à  $0^\circ$ .

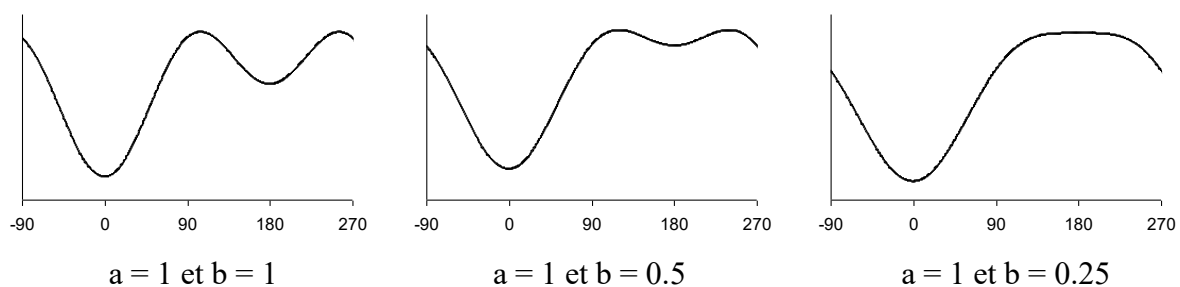


Figure 11: Évolution de la fonction potentiel avec l'augmentation de la fréquence d'oscillation des index, dans la tâche de coordination bimanuelle.

Cette modélisation rend bien compte des phénomènes observés. Le comblement progressif de l'attracteur en antiphase permet notamment d'expliquer l'accroissement des fluctuations qui précède la bifurcation. Au-delà d'une certaine valeur du rapport  $b/a$ , le système n'a plus d'autres solutions que de transiter vers le pattern en phase. Ce modèle rend également compte du fait que la bifurcation soit irréversible, c'est-à-dire qu'un ralentissement ultérieur de la fréquence ne restaure pas le pattern en antiphase.

Un développement particulièrement intéressant de cette approche dynamique a concerné la problématique de l'apprentissage moteur. Si l'on considère qu'un système présente une dynamique intrinsèque, c'est-à-dire un ou des comportements spontanés, on peut alors supposer que cette dynamique va constituer une donnée de départ sur lequel l'apprentissage va devoir se construire. Si le comportement à apprendre correspond à peu près aux tendances spontanées du système, on peut supposer que l'apprentissage consistera à exploiter la dynamique intrinsèque, quitte à l'adapter quelque peu aux exigences réelles de la tâche. Par contre si le comportement à apprendre se démarque des tendances spontanées, le système devra contraindre sa dynamique

intrinsèque pour imposer le nouveau comportement (Zanone et Kelso, 1992, 1997). Ce second type d'apprentissage a particulièrement retenu l'attention des chercheurs dans le domaine des sciences du sport, puisque le plus souvent dans ce cadre les apprentissages tendent à contrarier les comportements spontanés. Un certain nombre de travaux ont en effet montré, dans les tâches complexes, que les comportements des experts différaient qualitativement de ceux des novices (Delignières et al., 1998 ; Temprado, Della-Graza, Farrell, et Laurent, 1997). Ceci a amené à considérer l'apprentissage comme un processus de transition de phase entre le comportement débutant et le comportement expert (Zanone et Kelso, 1992). La nature de la transition est cependant assez délicate à observer. Nous nous sommes attachés à en rendre compte dans une étude portant sur l'apprentissage sur un simulateur de ski (Nourrit, Delignières, Deschamps, Caillou, et Lauriot, 2003). Cette expérimentation a permis de suivre des sujets durant une longue période d'apprentissage (39 séances de 10 minutes de pratique cumulée). La figure 12 rend compte de l'évolution du comportement, pour l'un des sujets ayant participé à l'expérience. La variable représentée (un coefficient d'amortissement) est liée à la manière dont les sujets entretiennent les oscillations du simulateur. Les valeurs négatives renvoient au comportement débutant, et les valeurs positives au comportement habile.

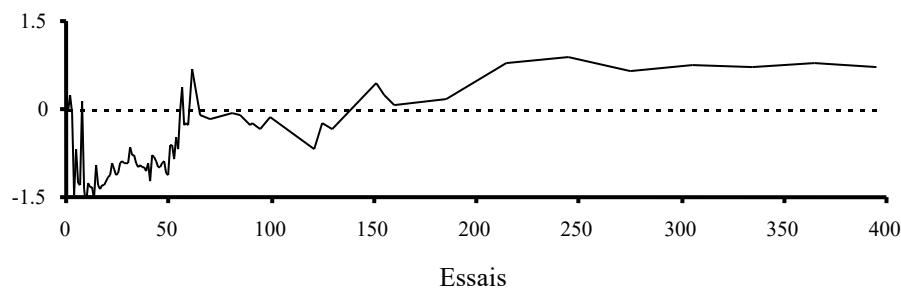


Figure 12. : Exemple d'évolution du comportement d'amortissement avec l'apprentissage sur le simulateur de ski. Cette série représente 390 essais d'une minute (Nourrit et al., 2003).

On a trouvé des évolutions similaires pour tous les sujets. Trois résultats méritent ici d'être retenus : Tout d'abord, le comportement « débutant » présente une certaine résistance au changement : il faut attendre pour ce sujet plus de 50 essais pour observer une évolution significative du comportement. Ceci renvoie à l'idée de l'importante stabilité intrinsèque des comportements spontanés, qui constituent les attracteurs naturels du système. Tous les sujets transitent vers le même comportement « habile ». Ce comportement constitue lui aussi un attracteur, qui semble ne devenir disponible qu'au-delà d'une certaine durée de pratique. Le sujet dont les résultats sont présentés adopte ce comportement de manière consistante à partir de 200 essais. Le passage du premier type de comportement au second n'est pas abrupt. Il s'effectue au cours d'une longue phase de transition, au cours de laquelle les sujets exploitent de manière alternée (souvent au cours du même essai), les deux comportements. Ce type de transition suggère que les deux attracteurs cohabitent un temps dans la dynamique du système, qui présente donc à ce moment une sorte de bistabilité. Dans ce sens, l'adoption du comportement expert semble s'appuyer sur l'exercice intermittent du comportement novice. Ce travail a éclairé d'un regard nouveau la manière dont on parvenait, au cours de l'apprentissage, à dépasser les comportements débutants.

Aller plus loin dans la présentation de cette théorie n'aurait guère de sens dans le cadre de cet ouvrage. Le lecteur intéressé pourra consulter l'abondante littérature et les nombreux développements qu'elle a suscités. Je voudrais ici pointer les aspects les plus importants à retenir de la théorie des systèmes dynamiques dans le cadre qui nous préoccupe.

La théorie des systèmes dynamiques a montré que les systèmes complexes possédaient des propriétés spécifiques, et notamment des tendances spontanées de coordination entre leurs éléments constitutifs, et des phénomènes non-linéaires de transition de phase, permettant de comprendre la dynamique des états du système. Ces propriétés sont émergentes, c'est-à-dire qu'elles sont déterminées de manière endogène par les caractéristiques du système, et non imposées de l'extérieur. Ces propriétés sont macroscopiques, dans le sens où elles sont propres au système, mais pas aux éléments qui le constituent.

En ce qui concerne la motricité, l'approche dynamique des coordinations a montré que le système moteur possédait une certaine autonomie de fonctionnement. Ceci ne veut pas dire comme d'aucuns ont pu l'affirmer un peu rapidement (voir par exemple Bordes et al., 2007), que le mouvement émerge « à l'insu » du sujet, même si dans certaines conditions expérimentales, on peut mettre en évidence des phénomènes qui pourrait y faire penser. L'être humain est doué de volonté, de motivation, il est capable de se représenter le monde et de se projeter dans l'avenir. Il est aussi capable d'innovation, notamment au niveau de sa motricité. L'approche dynamique n'a jamais nié l'existence des processus cognitifs, des intentions et des représentations. Elle a simplement réévalué leur place dans le système. Face aux théories cognitivistes qui posaient les représentations comme le cœur de l'action et de l'apprentissage (au point que l'apprentissage moteur ne devenait plus qu'un problème de modification des représentations), elle a simplement affirmé que le système moteur possédait aussi ses déterminismes, et que les intentions du sujet devaient nécessairement prendre en compte cette dynamique sous-jacente. Prendre en compte, c'est-à-dire l'exploiter lorsque les tendances spontanées du système servent les intentions, mais aussi contraindre, lutter contre ces tendances lorsque le comportement qui émerge naturellement s'oppose à ce qui était visé. On peut citer le cas connu des marcheurs athlétiques, qui s'efforcent de conserver un pattern de marche à des vitesses de déplacement où le système locomoteur est attiré par la course. Nous avons ainsi pu montrer dans le cadre des coordinations bimanuelles, comment les sujets pouvaient intentionnellement résister à la bifurcation de l'antiphase à la phase, à des fréquences d'oscillation bien supérieures à la fréquence critique (Deschamps et al., 2000). Sholz et Kelso (1990) ont montré que les sujets pouvaient intentionnellement transiter de la phase à l'antiphase et de l'antiphase à la phase. Leurs résultats montrent surtout que la transition est plus lente dans le premier cas que dans le second, ce qui est logique lorsque l'on observe la fonction potentiel de la figure 10. Il est plus difficile de s'extraire du puits de potentiel de la phase que de celui de l'antiphase. Ces exemples montrent comment la dynamique spontanée du système et les intentions du sujet collaborent, parfois en harmonie, parfois dans une logique de compromis, pour atteindre les objectifs fixés. L'approche dynamique suggère surtout que la dynamique intrinsèque du système peut être une ressource essentielle, prenant en charge des aspects importants du mouvement et réduisant ainsi les demandes attentionnelles.

On a souvent pensé que cette approche n'avait de choses à dire que dans le domaine d'une sensori-motricité basale. Tant qu'il s'agissait de synchroniser les doigts, on pouvait admettre cette petite hérésie. Mais qu'une telle théorie puisse rendre compte d'activités typiquement humaines, de motricités complexes et innovantes, de processus plus « nobles » liés à la prise de décision, aux émotions, aux motivations, voire même de processus collectifs, il ne pouvait en être question. La recherche a peu à peu apporté de sévères démentis à ces réserves. La théorie des systèmes dynamiques a montré qu'elle était capable de rendre compte de nombreux phénomènes moteurs, au-delà des coordinations bimanuelles. Bardy, Marin, Stoffregen et Bootsma (1999) ont montré que les coordinations posturales obéissaient à des principes dynamiques similaires. Dietrich et Warren (1995) ont utilisé ce cadre théorique pour une élégante analyse de la transition marche-course. Un certain nombre de travaux ont montré que cette approche pouvait également rendre compte d'une motricité sportive plus complexe

(Delignières et al., 1998 ; 1999 ; Nourrit, Delignières, Caillou, Deschamps, et Lauriot, 2003 ; Seifert, Delignières, Boulesteix, et Chollet, 2007 ; Temprado, Della-Graza, Farrell, et Laurent, 1997 ; Teulier, Nourrit et Delignières, 2006). La thématique de la prise de décision a également été étudiée de manière particulièrement heuristique au travers de ce cadre théorique (Araújo, Davids, et Hristovski, 2006). Enfin, Schmidt, Carello, et Turvey (1990) ont montré que les résultats mis en évidence par Kelso sur les coordinations bimanuelles (émergence de patterns spontanés, bifurcation de l'antiphase vers la phase) caractérisaient également les coordinations interpersonnelles. Par ailleurs la théorie des systèmes dynamiques ne concerne pas que la motricité. Elle a également permis de renouveler l'approche des représentations cognitives (Van Gelder, 1997 ; Van Orden, Holden, et Turvey, 2003), de la perception (Tuller, 2004), et des attitudes (Vallacher et Nowak, 1997).

Même si cette approche n'a pas encore été appliquée aux compétences (on voit d'ailleurs difficilement comment une telle approche pourrait être menée avec la rigueur nécessaire), le fait que la théorie des systèmes dynamique ait permis de rendre compte de nombreuses composantes de la compétence (des habiletés, des connaissances, des attitudes), laisse penser qu'elle pourrait de même permettre de mieux comprendre les comportements spontanés face aux situations complexes, la construction progressive des compétences, ou la transition du comportement compétent d'un régime des « gestion des affaires courantes » à une « gestion de crise », lorsque la situation le demande.

La théorie des systèmes dynamiques a permis de comprendre comment certains comportements pouvaient apparaître au sein des systèmes complexes. On peut être surpris de voir cohabiter dans ce chapitre la théorie du Chaos, qui évoque surtout le problème de l'imprévisibilité, et la théorie des systèmes dynamiques, qui semble donner les bases d'une relative prévisibilité statistique du comportement des systèmes complexes. Cette opposition ne résiste pas à une analyse plus approfondie. Comme il a été dit précédemment, les systèmes chaotiques présentent un comportement d'apparence aléatoire, mais qui se déploie cependant dans un espace relativement restreint des possibles. De même les attracteurs décrits par la théorie des systèmes dynamiques ne présentent qu'une stabilité relative. Ces attracteurs donnent au système une trame de fond, une régularité à partir de laquelle toute forme d'adaptation peut être construite. Ces théories en apparence contradictoires et pourtant voisines illustrent encore une fois le principe dialogique dont on a parlé au chapitre précédent, mettant en regard des notions a priori opposées, mais les faisant dialoguer à un niveau supérieur.

## Chapitre 5

### Complexité et fractalité

Comme je l'ai dit précédemment, les théories de la complexité sont nombreuses et variées. J'ai abordé pour l'instant les approches les plus diffusées. Je voudrais dans cette partie évoquer un autre domaine théorique, consacré à l'analyse de la variabilité dans les systèmes complexes. La question centrale est la suivante : que peut-on apprendre des systèmes complexes en étudiant la manière dont ils fluctuent dans le temps ?

Cette ligne de recherche est assez récente, demeure confidentielle dans le milieu de la recherche, et peu diffusée dans le grand public. Le mot-clé de cette approche, la fractalité, reste empreint d'un ésotérisme qui en bloque quelque peu l'abord. Il est utile, pour en comprendre l'intérêt, de revenir aux sources de ce concept, une nouvelle géométrie fondée voici 30 ans, qui a connu de nombreuses applications technologiques et a pu susciter quelque intérêt auprès du public.

#### **La géométrie fractale**

La géométrie euclidienne a pour objectif d'étudier les propriétés d'un certain nombre d'objets formels génériques, que tous les écoliers ont appris peu à peu à connaître : les lignes, les triangles, les parallélogrammes, les cercles, les ellipses, les cylindres, les cônes, etc. Cette géométrie permet un ensemble d'opérations classiques, tels que le calcul des distances, des surfaces ou des volumes. L'équivalence de ces objets géométriques avec de nombreux artefacts techniques de l'humanité (les champs peuvent être assimilés à des rectangles, les maisons à des cubes, les roues à des disques) a assuré le succès et la pérennité de cette science (notamment dans le cadre scolaire).

Dans les années 70, un mathématicien français, Benoît Mandelbrot, a pointé certaines limites de la géométrie euclidienne. Si cette dernière se révèle efficace pour modéliser un certain nombre d'objets artificiels produits par l'activité humaine, elle est incapable de rendre compte des objets qui peuplent notre environnement naturel : « Les nuages ne sont pas des sphères, les montagnes ne sont pas des cônes, les lignes de côte ne sont pas des cercles, et une écorce n'est pas lisse, de même que les éclairs ne sont pas des lignes droites. » (Mandelbrot, 1995). On pourrait envisager, comme l'on fait certains jeux vidéo de première génération, de représenter un sapin en associant un cylindre brun pour le tronc et un cône vert pour la ramure. Le résultat pourrait peut-être évoquer un conifère, mais en aucun cas en simuler la réalité. La géométrie euclidienne, quand bien même on chercherait à multiplier à l'infini les associations de formes et de volumes, semble incapable de rendre compte de la complexité des objets naturels. Mandelbrot va tenter de fonder une nouvelle géométrie, à partir de présupposés

radicalement différents, qui serait plus à même de modéliser l'architecture complexe de la nature.

Un certain nombre de mathématiciens, au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, ont travaillé sur des objets assez étranges que l'on considère souvent à l'origine de la géométrie fractale de Mandelbrot. C'est notamment le cas de von Koch (1870-1924), qui a étudié les propriétés d'un objet connu sous le nom de « flocon de von Koch ». Cet objet est construit de manière itérative, c'est à dire qu'une certaine opération est répétée à l'identique un grand nombre de fois, à partir d'une image initiale. L'étape première de la construction du flocon est une étoile à six branches (Figure 13). Cette étoile est formée de 12 segments de longueur égale, qui en constituent le périmètre. A l'étape suivante, chacun de ces segments est remplacé par une ligne brisée constituée de quatre segments de longueur égale au tiers du segment initial. Les deux segments médians forment une excroissance qui pointe vers l'extérieur. A l'étape suivante, le processus est répété pour chacun des segments composant le périmètre du flocon. La figure 12 présente l'évolution du flocon au cours des quatre premières itérations.

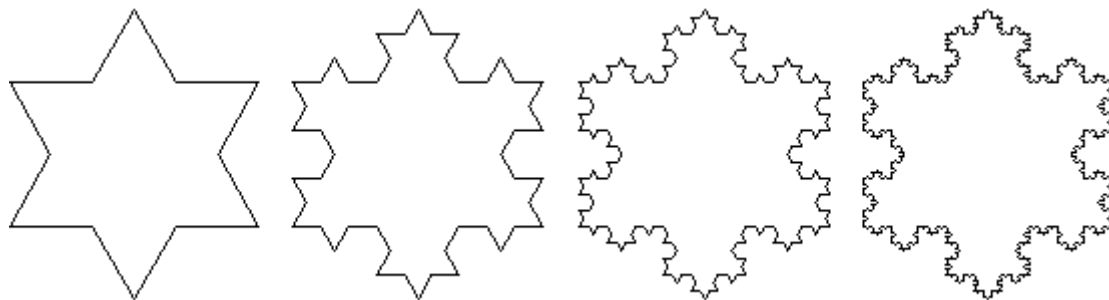


Figure 13 : Le flocon de von Koch

Cet objet présente quelques propriétés assez étonnantes. Tout d'abord, son aspect n'est pas défini en dehors du nombre d'itérations réalisées. Dans ce sens, le flocon de von Koch est davantage un processus dynamique qu'un objet statique et parfaitement déterminé. Il n'en demeure pas moins parfaitement prévisible : il suffit de convenir du nombre d'itération à réaliser pour en connaître complètement les caractéristiques. Mais dans l'absolu, on peut répéter les itérations à l'infini.

On aura remarqué que le périmètre total du flocon augmente à chaque itération dans un rapport de 4/3. Dans l'absolu, le flocon peut donc avoir un périmètre de longueur infinie, pour peu que l'on laisse se poursuivre les itérations. On sait par ailleurs que l'étoile initiale est circonscrite dans un cercle passant par ses six pointes. Or quel que soit le nombre d'itérations réalisées, le flocon ne dépassera jamais les limites de ce cercle. On se trouve donc potentiellement en face d'un périmètre de longueur infinie qui va se nicher dans une surface essentiellement finie.

Ceci nous amène à une propriété fondamentale de cet objet. Intuitivement, on sent que le flocon de von Koch est plus qu'une simple ligne, mais pas encore une surface. Dans la géométrie euclidienne, on a l'habitude de distinguer lignes, surfaces et volumes par le concept de *dimension*. La ligne est de dimension 1, la surface de dimension 2, le volume de dimension 3. La dimension renvoie au nombre de coordonnées qu'il est nécessaire de connaître, par rapport à une origine déterminée, pour situer un point dans l'objet. La dimension d'un objet tel que le flocon de Koch est plus délicate à déterminer. On l'a vu, un tel objet est constitué, itération par itération, de répliquations de lui-même en plus petit. Sa dimension peut se calculer comme suit :

$$d = \log n / \log h$$

où  $n$  représente le nombre de répliques et  $h$  le facteur de réduction appliqué à chaque itération. Par exemple, un côté du flocon de Koch est formé de  $n = 4$  exemplaires de lui-même réduit d'un facteur  $h = 3$ . Sa dimension vaut  $\log 4 / \log 3 = 1.26$ . Un tel objet a une dimension non entière, ce que l'on du mal à se représenter tant on est habitué à réfléchir dans une perspective euclidienne. D'autres objets ont été créés et étudiés dans une logique similaire, tels le triangle de Sierpinski qui possède une dimension de 1.58, ou l'éponge de Menger, qui avec une dimension de 2.73 se situe entre la surface et le volume. C'est parce que ces objets ont une dimension fractionnaire que Mandelbrot a proposé de les appeler objets fractals (du latin *fractus*, brisé).

Une autre propriété essentielle des objets fractal est leur *auto-similarité* : c'est-à-dire que quelle que soit l'échelle d'observation à laquelle on se situe (par exemple en zoomant sur un point particulier), l'objet présente une structure de complexité équivalente, au facteur d'agrandissement près. La figure 14 illustre cette propriété pour le flocon de Koch. Parce que cette propriété s'exprime au travers d'une réduction systématique appliquée à chaque itération, on parle d'*invariance d'échelle*.

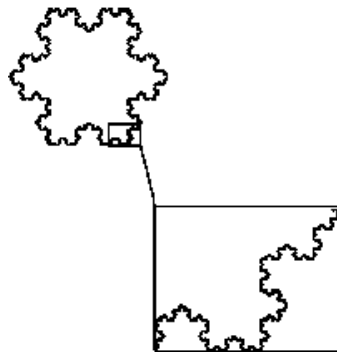


Figure 14 : L'auto-similarité du flocon de von Koch.

Ces objets fractals seraient restés d'aimables jeux mathématiques, s'ils n'avaient pas été le point de départ d'une véritable révolution dans le regard que les scientifiques portent sur la nature. Dans un article fameux, Mandelbrot (1967) pose la question suivante : « Quelle est la longueur de la côte de la Grande Bretagne ? ». La question est d'autant plus pertinente que cette côte est infiniment découpée, émaillée de presque îles elles-mêmes percées de criques hérissées de rochers divers... Vu de loin, sur une carte générale du pays ou d'un vaisseau spatial, on aura tendance à négliger les détails et l'on pourra estimer la longueur des côtes à quelques milliers de kilomètres. Mais si l'on descend sur le terrain et que l'on commence à mesurer la côte avec un décamètre, contournant chaque rocher et allant au fond de chaque crique, c'est en millions de kilomètres qu'il faudra compter. Imaginez maintenant que l'on travaille avec un pied à coulisse, prenant en compte le moindre galet, la moindre infractuosité... La longueur de la côte de Grande-Bretagne n'existe pas en dehors de l'échelle d'observation à laquelle on la mesure, ce qui est la caractéristique des objets fractals. Mandelbrot montre que la dimension fractale de la côte ouest du pays vaut environ 1.25, proche de celle du flocon de von Koch.

Une autre catégorie d'objets naturels a particulièrement attiré l'attention de Mandelbrot et de ses collaborateurs : les végétaux. L'arborescence des arbres, des fougères, possède une logique similaire à celles des objets fractals formels : un tronc se subdivise en branches, plus courtes et moins épaisses, qui elles-mêmes se subdivisent à nouveau, jusqu'aux fines brindilles qui occuperont la périphérie de l'ensemble. Si l'on coupe une branche et qu'on la plante dans le sol, on aura une image en miniature de l'arbre total. On conçoit que de tels végétaux possèdent les propriétés d'auto-similarité et d'invariance d'échelle caractéristiques des objets fractals. On cite aussi souvent, à titre didactique, l'exemple du chou-fleur : quelle que soit

l'échelle à laquelle on regarde un chou-fleur, il a la même structure : un tronc commun qui s'évase en sous-choux-fleurs ; chaque sous-chou-fleur s'évase en sous-sous-choux-fleurs, etc.

Au-delà de la nature qui nous entoure, le corps humain lui-même présente une structure fractale. Ainsi le système sanguin et le système nerveux du corps humain sont construits sur les principes fractals. Le système sanguin, par exemple, depuis la veine-cave du coeur et l'aorte jusqu'aux plus petits capillaires. Il en est de même pour le système pulmonaire avec un système de ramification partant des bronches jusqu'aux bronchioles et qui possède une invariance d'échelle. On peut aussi évoquer l'appareil digestif : on sait que la surface de l'intestin est supérieure à celle d'un terrain de football ; comment peut-on loger en si peu de volume une telle surface sans une structure fractale ?

Pour reprendre les mots de Mandelbrot, sa géométrie s'écarte clairement des objets rassurants, rationnels et bien définis de la géométrie classique. Il s'agit d'une « *géométrie du grêlé, du criblé, du disloqué, du tordu, de l'enchevêtré, de l'entrelacé* ». Elle s'attache à décrire des propriétés négligées par l'approche classique, telles que la rugosité, la découpe, l'irrégularité, les modalités selon lesquelles un objet remplit l'espace. Mais il ne s'agit pas uniquement de décrire les phénomènes naturels : la géométrie fractale se pose comme un nouveau regard permettant de comprendre l'organisation de la nature, son développement, et son écologie.

La géométrie fractale connaît de nombreux domaines d'application. Notamment le cinéma et les jeux vidéo font appel à ses services en ce qui concerne la simulation de paysages en images de synthèse. Une des techniques de génération de paysages est suffisamment simple pour que l'on puisse tenter de l'expliquer ici. Il s'agit de la technique du *midpoint displacement*, qui débute sur la base d'un simple segment horizontal. Lors de la première itération, on va plier ce segment par son milieu, en appliquant à son point central un déplacement vertical d'une valeur aléatoire  $y$ . Si cette valeur est positive, cette première itération va générer l'ébauche d'une montagne, et à l'inverse d'une vallée si la valeur est négative. L'altitude de la première ou la profondeur de la seconde dépendront de la valeur de  $y$ , qui rappelons-le est générée aléatoirement. Ce processus est ensuite répété sur chacun des segments créés par l'itération précédente. Afin de respecter le principe d'invariance d'échelle, on diminue progressivement au cours des itérations la taille des valeurs aléatoires  $y$ . La figure 15 donne un exemple de simulation réalisée selon ces principes. On a travaillé ici en deux dimensions, de manière à obtenir un paysage en surface. Mais les principes sous-tendant l'émergence de cette figure sont les mêmes que ceux précédemment présentés.

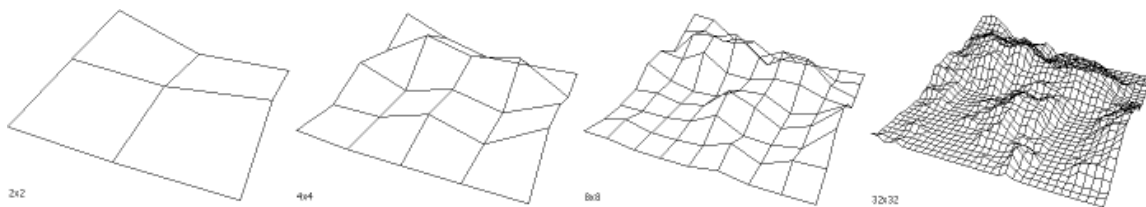


Figure 15 : La génération de paysages fractals. On présente ici les quatre premières itérations de la procédure du « *mid-point displacement* ».

Cette technique appelle quelques remarques essentielles. Comme on peut le voir, à cause du principe d'invariance d'échelle qui réduit au fur et à mesure l'importance des déplacements aléatoires des milieux de segments, ce sont les premières itérations qui déterminent les reliefs majeurs du paysage (montagnes et vallées). Les itérations suivantes ne font que complexifier

ces reliefs initiaux, y ajoutant des sous-reliefs plus locaux. Cette adjonction est cependant essentielle pour donner au paysage une certaine plausibilité. Il suffit ensuite de supprimer l'architecture des segments, de la remplacer par une texture de surface, et de colorer l'ensemble en fonction de l'altitude : du vert au fond des vallées, du brun sur les hauts plateaux, du blanc au sommet des montagnes. C'est ainsi qu'ont été générés les paysages de la trilogie du « Seigneur des Anneaux ». Chacun a pu apprécier le réalisme de ces productions, par rapport aux misérables décors peints des films des années 50.

On peut également noter que par rapport au déterminisme du flocon de Koch, pour lequel on applique à chaque itération une opération parfaitement prévisible, on utilise ici des modifications aléatoires, même si leur principe d'application demeure intangible. C'est ce qui permet de générer des paysages présentant une irrégularité essentielle à leur plausibilité. On peut noter aussi que chaque réalisation débouchera sur un paysage différent. Pourtant c'est exactement le même algorithme qui sera à l'œuvre.

Un autre exemple particulièrement illustratif est celui de la génération de végétaux. La figure 16 montre comment on peut simuler un arbre, par l'application itérative d'un simple formalisme fractal. A chaque itération les « branches » se ramifient en se couvrant de « feuilles ». On voit qu'à la quatrième itération on obtient déjà un arbuste « plausible », et un arbre adulte à la huitième. Il est intéressant de voir que la logique itérative de la géométrie fractale semble également simuler la genèse naturelle des objets qu'elle représente.



*Figure 16 : Un exemple de génération d'un arbre virtuel, selon les principes de la géométrie fractale.*

Ici aussi l'algorithme présente une composante aléatoire. A chaque itération un bruit est ajouté au système, perturbant les symétries de l'objet résultant. Ce qui fait que deux arbres générés par le même algorithme n'auront pas exactement la même forme. Néanmoins l'algorithme est spécifique à une espèce. En utilisant l'algorithme du chêne, on obtiendra toujours des chênes, tous différents, mais indubitablement identifiés en tant que chênes. On conçoit que ce type d'outil puisse permettre des simulations particulièrement réalistes, notamment en plaçant ces végétaux dans les paysages présentés précédemment.

### **La dynamique fractale**

Le formalisme fractal ne s'applique pas qu'aux objets, et un certain nombre d'autres phénomènes semblent pouvoir être analysés au travers de ce filtre conceptuel. L'évolution temporelle des systèmes complexes semble notamment présenter de telles propriétés. Il s'agit dans ce type de recherche d'analyser la fluctuation des « performances » d'un système, lorsqu'il se trouve en état d'équilibre. C'est un thème de recherche relativement nouveau, qui à ma connaissance n'a pas encore été présenté en langue française dans un ouvrage de vulgarisation. Il constitue le cœur de mes travaux de recherche depuis quelques années.

On analyse cette évolution temporelle au travers de séries de données, telle que celle présentée en figure 17. Cette figure représente une série d'intervalles temporels, produits par des tapes répétitives et régulières de l'index sur une table. Plus de 1000 tapes successives ont été réalisées, l'essai durant une quinzaine de minutes. On le voit, les performances réalisées par

les sujets dans ce type de tâche présentent une certaine stationnarité dans le temps, autour de l'intervalle de 500 millisecondes qui était prescrit au départ. La série présente cependant une variabilité importante : elle fluctue largement autour de la valeur-cible.

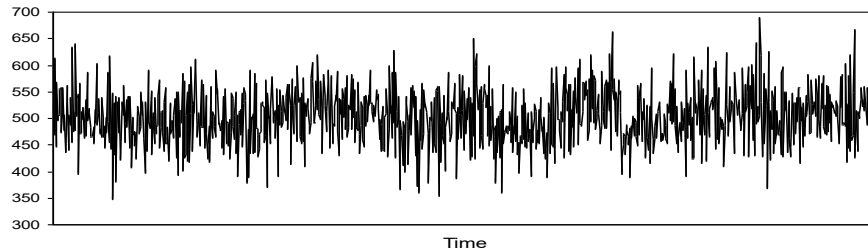


Figure 17 : Série d'intervalles temporels produits lors d'une tâche de tapping (Delignières, Lemoine et Torre, 2004).

Ce type de série expérimentale illustre clairement le problème posé par la variabilité aux chercheurs. Que signifient ces fluctuations systématiquement observées dans les performances des systèmes étudiés ? Pourquoi et comment ces séries semblent-elle associer une certaine stabilité sur le long terme, mais une constante instabilité locale ? Ces fluctuations constituent-elles des erreurs, ou jouent-elles un rôle fonctionnel ?

L'approche classique de la variabilité la considère plutôt comme une suite d'erreurs aléatoires. Par exemple, les théories de la personnalité décrivent cette dernière au travers du concept de « trait de personnalité », disposition permanente sous-tendant le comportement du sujet. On a ainsi identifié des traits tels que l'anxiété, l'extraversion, supposés charpenter la personnalité de chacun. Un trait de personnalité est pensé comme une caractéristique stable, inhérente à l'individu, et donc mesurable par une valeur donnée. Lorsque l'on réalise des mesures répétées de ce trait, on observe cependant des fluctuations. On suppose alors que chaque mesure est entachée d'erreur, liée notamment aux imperfections de l'outil de mesure. On peut modéliser cette hypothèse en disant que la mesure  $x_i$  est égale à la valeur vraie  $\mu$  mesurant le trait, plus un terme aléatoire d'erreur ( $\varepsilon_i$ ).

$$x_i = \mu + \varepsilon_i$$

Dans cette équation,  $\varepsilon_i$  représente une série aléatoire, c'est à dire une suite de nombres complètement indépendants les uns des autres. Nous avons déjà évoqué au chapitre précédent ce type de processus stochastique (voir Figure 4). Ce processus a une moyenne nulle (c'est-à-dire qu'il y a statistiquement autant de quantité d'erreurs positives que de quantité d'erreurs négatives, par rapport à la valeur vraie). Cette propriété est importante, car elle suppose que lorsque l'on fait la moyenne des mesures  $x_i$ , on obtient la valeur vraie  $\mu$ , le moyennage éliminant les erreurs qui se compensent mutuellement. Cette hypothèse est à la base du traitement classique du problème de la variabilité : on néglige l'erreur en l'éliminant systématiquement, par lissage<sup>12</sup> ou par moyennage, pour ne s'intéresser qu'aux valeurs moyennes. Au mieux mesure-t-on la grandeur de la variabilité au travers du calcul de l'écart-type ou de la variance<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> Le lissage vise à éliminer les irrégularités d'une courbe, en ne retenant que la tendance générale de l'évolution de la variable. Une des techniques les plus simples de lissage consiste à remplacer chaque valeur par la moyenne des valeurs contenues dans un intervalle dont elle occupe le centre.

<sup>13</sup> L'écart-type est une mesure de la distance moyenne des valeurs d'un échantillon à la valeur moyenne. Plus l'écart-type est grand, plus les valeurs sont dispersées autour de la moyenne, et donc plus la variabilité est importante. La variance est le carré de l'écart-type.

Une autre conception de la variabilité a été introduite par la cybernétique, notamment par le principe d'homéostasie. Ce principe a déjà été évoqué au chapitre précédent. Une boucle homéostatique peut être modélisée tel qu'indiqué dans la figure 18.

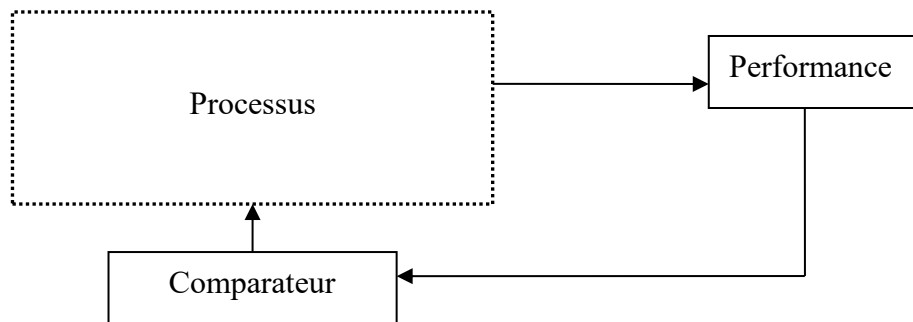


Figure 18 : Un système homéostatique.

Dans un tel système, le processus produit une performance, qui est ensuite comparée à une performance attendue. Si la performance produite est supérieure à la performance attendue, le processus corrige la performance suivante à la baisse, et vice-versa si la performance produite est inférieure à la performance attendue. Ce principe permet sur le long terme de maintenir la performance moyenne aux alentours de la performance attendue. C'est sur ce principe que fonctionnent les thermostats, régulant la température obtenue dans une pièce par rapport à une température attendue. Comme dans le cas précédent, la performance va osciller autour de la valeur déterminée par le comparateur. Les oscillations seront de nature différente, cependant, dans la mesure où elles vont être générées en partie par un processus de correction systématique, et non plus uniquement par des erreurs aléatoires comme dans le cas précédent.

Ces deux conceptions classiques de la variabilité débouchent donc théoriquement sur des séries de « performances » aux propriétés prévisibles. Dans le premier cas on s'attend à trouver des fluctuations aléatoires autour d'une valeur de base, dans le second on s'attend à ce que chaque valeur « corrige » les erreurs de la valeur précédente. On peut vérifier en analysant des séries obtenues expérimentalement (par exemple la série proposée en Figure 17) si ces propriétés se vérifient. Il se trouve que c'est rarement le cas. La plupart du temps, les séries constituées par l'observation répétée d'un système complexe possèdent des propriétés fort différentes, qui ont été modélisées selon des principes proches de la géométrie fractale.

Une première propriété typique fréquemment observée dans les séries produites par les systèmes complexes est l'*auto-similarité statistique*, dont le principe est illustré par la figure 19. L'auto-similarité signifie que lorsque que l'on découpe une fenêtre de la série originale et qu'on l'agrandit selon une échelle appropriée, cette portion possède des propriétés statistiques similaires à celles de la série complète. En d'autres termes, les fluctuations semblent de même nature, qu'on les regarde à l'échelle de l'année, de la semaine, du jour, de l'heure ou de la minute. On peut aussi dire que la série n'a pas d'échelle de temps caractéristique. Lorsque l'on observe par exemple une série sinusoïdale, une échelle caractéristique émerge de manière évidente, correspondant à la fréquence de la fonction sinus. Ceci sera vrai pour toute série plus ou moins périodique. Une série fractale ne présente pas de telles périodicités. Les fluctuations semblent apparaître à de multiples échelles temporelles, enchevêtrées les unes dans les autres, sans qu'aucune périodicité particulière ne domine les autres.

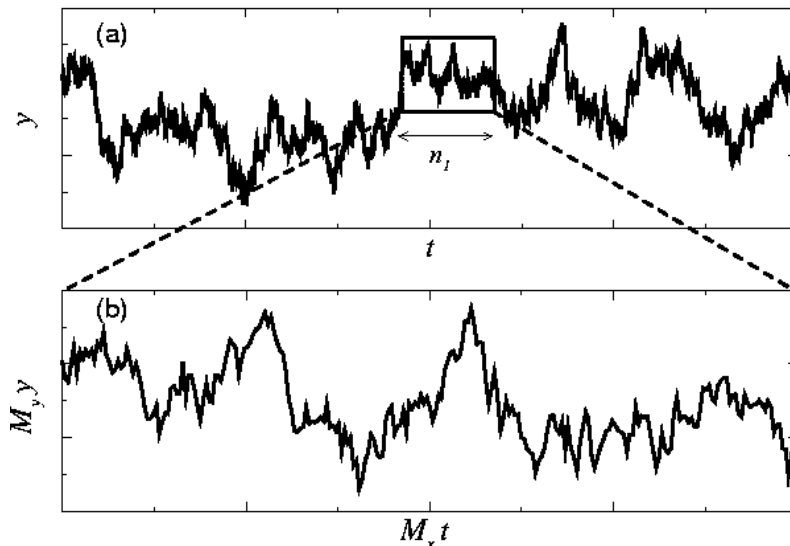


Figure 19 : L'auto-similarité statistique. Graphique adapté d'après Peng, Hausdorff et Goldberger (2000).

Une autre propriété de ces séries fractales est la présence de corrélations entre données successives. Le terme de corrélation ici signifie que la donnée actuelle « dépend » de la donnée précédente. On a vu que dans la première explication classique de la variabilité, de telles corrélations n'existent pas, car les fluctuations sont déterminées par un processus aléatoire justement non corrélé. Dans le cas d'un processus homéostatique, des corrélations pourront être présentes, puisque la valeur actuelle est déterminée par une correction de la valeur précédente. Si la correction n'est pas complète, il subsistera une fraction de la valeur précédente dans la valeur actuelle, déterminant donc la présence de corrélations entre valeurs successives. Mais ces corrélations seront à court terme, dans la mesure où la valeur actuelle ne conservera la mémoire que de la valeur qui l'a précédée.

Les séries fractales présentent des corrélations tout à fait particulières, appelées *corrélations à long terme*, ou encore *corrélations à longue mémoire*. Cette notion n'est pas évidente à expliciter. On peut comprendre par-là que la valeur actuelle va conserver la « mémoire » de l'ensemble des valeurs qui l'ont précédée. De manière plus simple, on peut dire que si la série présente à un moment donné une tendance à l'accroissement, cette tendance risque de se prolonger dans le futur (ceci dans le cas de corrélations positives, ce qui est le cas le plus souvent). Et cette dépendance est présente à toutes les échelles de temps, de manière enchevêtrée. Les fluctuations de l'année se reproduiront plus ou moins l'année suivante, celle du mois le mois suivant, celles du jour le lendemain, etc.

Ce qu'il faut retenir de cette propriété, c'est que la valeur actuelle est en quelque sorte « solidaire » de toute l'histoire antérieure des fluctuations de la série. Alors qu'une série fractale ne possède pas de « valeur de référence »<sup>14</sup>, comme c'est le cas dans les conceptions classiques de la variabilité, cette propriété de corrélation la dote cependant de propriétés intrinsèques de stabilité. Une série fractale ne présentera que rarement de valeurs aberrantes, hors normes.

### Complexité et dynamique fractale

Ces propriétés ont été utilisées pour caractériser les séries fractales, et notamment pour mesurer la force des corrélations à l'intérieur des séries. De nombreuses méthodes assez sophistiquées ont été proposées, dont la présentation sort du cadre de cet ouvrage. Le lecteur

<sup>14</sup> Ce concept de valeur de référence correspond à l'idée que la série tendrait toujours à revenir vers une valeur stable, correspondant à la « valeur vraie » des productions du système.

intéressé pourra consulter certains articles de référence (notamment Delignières, Ramdani, Lemoine, Torre, Fortes, et Ninot, 2006 ; Eke, Herman, Basingthwaighte, Raymond, Percival, Cannon, Balla, et Ikrényi, 2000 ; Torre, Delignières et Lemoine, 2007).

Je voudrais ici évoquer une méthode assez simple, qui permet de mieux comprendre les rapports entre fluctuations fractales et complexité. Cette méthode est l'analyse spectrale, qui consiste à décomposer la série originale en une série de composantes sinusoïdales. La figure 20 en illustre schématiquement le principe. Le signal présenté à gauche peut être décomposé en une série de signaux sinusoïdaux. On voit que ces signaux ont des fréquences différentes (le signal du bas a une fréquence très faible, et la fréquence augmente au fur et mesure que l'on s'élève dans le graphique). Ces signaux possèdent également des amplitudes différentes. L'amplitude est l'écart entre les valeurs minimales et maximales du signal. On voit dans cet exemple que les signaux à basse fréquence ont une amplitude plus élevée que les signaux à haute fréquence. Ce qu'il est important de comprendre, c'est que le signal de gauche peut être reconstitué en faisant la somme, point par point, des signaux de droite. Ainsi il y a exactement la même information dans le signal de départ que dans sa décomposition sinusoïdale.

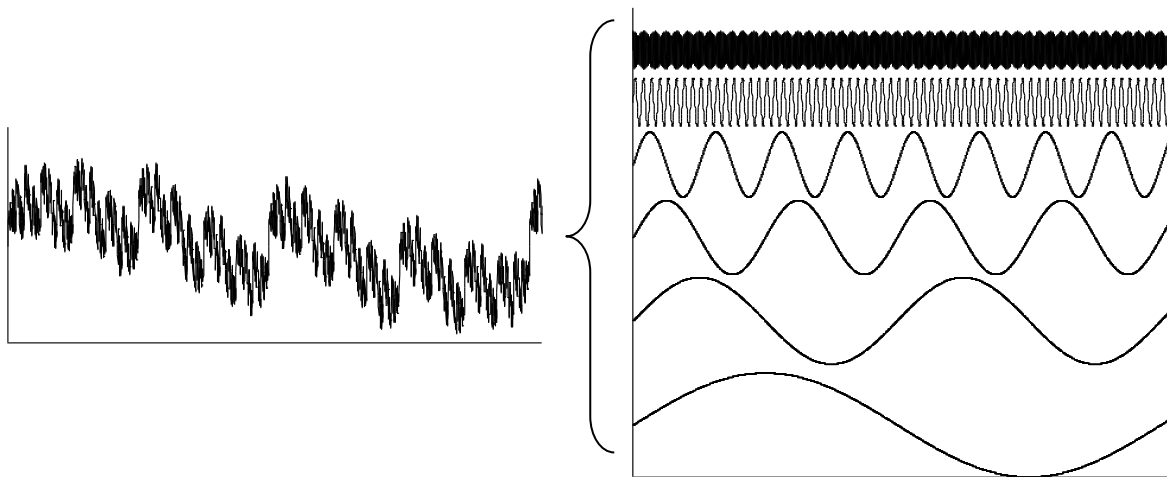


Figure 20 : Décomposition d'un signal en somme de signaux sinusoïdaux.

Cet exemple est volontiers simplificateur. L'application de l'analyse spectrale ne débouche pas lors de l'analyse de signaux réels sur une poignée de composantes, comme dans cette illustration. On obtient en fait une continuité de signaux sinusoïdaux, des fréquences les plus basses aux fréquences les plus élevées. On représente pratiquement le résultat de cette décomposition par un graphe portant en abscisse la fréquence des composantes, et en ordonnée leur amplitude. Ce graphe est appelé *spectre de puissance*. Ce type d'analyse est généralement utilisé pour montrer qu'un signal possède des fréquences dominantes : dans ce cas lorsque l'on représente le spectre de puissance, on voit apparaître des pics significatifs, preuve que le signal possède une certaine périodicité aux fréquences correspondantes.

La figure 21 représente le spectre de puissance d'une série fractale. On le voit, il n'existe ici aucun pic significatif. Ceci renvoie à l'idée évoquée plus haut selon laquelle une série fractale ne présente aucune échelle de temps caractéristique. Si la série analysée présentait une périodicité repérable, alors l'une des fréquences présenterait un pic remarquable. On observe ici une relation linéaire, proportionnelle, entre fréquence et puissance, preuve qu'aucun des composants sinusoïdaux ne domine le signal. On peut remarquer que le graphe est présenté en coordonnées bi-logarithmiques. Ceci indique que la véritable relation entre fréquence et

puissance est une relation de type puissance<sup>15</sup>. Mais ceci ne modifie pas l'essence de l'interprétation : un signal fractal peut être décomposé en un ensemble continu de composantes sinusoïdales, dont la puissance est distribuée de manière relativement homogène. On remarque cependant que la puissance tend à diminuer régulièrement lorsque la fréquence s'élève (de gauche à droite sur le graphique). Un indice important prélevé sur ces graphes est la pente de la droite sur laquelle les points s'alignent. Dans l'exemple présenté en figure 21 cette pente est approximativement égale à -1.

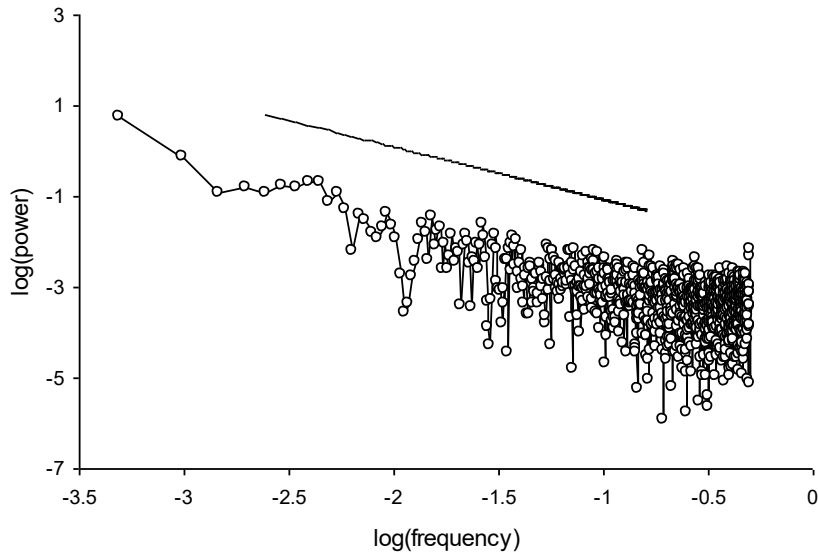


Figure 21 : Représentation, en coordonnées bi-logarithmiques, du spectre de puissance d'une série fractale (Delignières, Fortes et Ninot, 2004). Le segment de droite représente la pente moyenne du spectre. Dans cet exemple cette pente est proche de -1.

Pour comprendre ce graphique, on peut considérer que chaque composante sinusoïdale représente un élément constitutif du système global. Les points les plus à gauche, correspondant aux fréquences les plus basses, renvoient à des sous-systèmes générant des évolutions lentes dans le signal. Les points les plus à droite, correspondant aux fréquences les plus élevées, renvoient à des perturbations à très court terme. L'analyse spectrale permet de visualiser la contribution de tous les éléments qui composent le système. Ce graphe suggère que l'ensemble des éléments contribuent de manière équilibrée au fonctionnement global, en respectant une *invariance d'échelle* que l'on peut résumer ainsi : les événements les plus rares affectent davantage le système que les événements les plus fréquents. Ce phénomène a été particulièrement popularisé dans le cadre de la distribution temporelle des tremblements de terre. Dans un endroit donné de la planète, des séismes d'amplitude faible sont enregistrés tous les jours. Les séismes importants sont beaucoup moins fréquents et les catastrophes majeures sont rarissimes. Les tremblements de terre ont en effet une distribution temporelle fractale, qui permet, au niveau au moins probabiliste, de prédire l'apparition de séismes majeurs, en fonction de la fréquence d'occurrence d'événements de cette magnitude.

<sup>15</sup> Quelques lecteurs seront peut-être fâchés avec cette notion de logarithme. Il ne s'agit que d'une forme d'expression des nombres, sous forme de puissance de 10 (ou de tout autre nombre que l'on appellera la base). Ainsi 100 est égale à  $10^2$ , et le logarithme (de base 10) de 100 est 2. Les graphes bi-logarithmiques (c'est-à-dire que les deux axes, abscisses et ordonnées, sont représentés en échelles logarithmiques) possèdent une propriété remarquable : s'il existe une relation de type puissance entre les  $x$  et les  $y$ , par exemple  $y = x^a$ , alors  $\log y = a \log x$ . Le graphe bi-logarithmique prend donc la forme d'une droite, dont la pente ( $a$ ) représente l'exposant de la relation originale.

Ce qu'il faut avant tout retenir ici, ce n'est qu'aucun des éléments composant le système ne peut être considéré comme occupant une place privilégiée, une sorte de leadership sur le fonctionnement global. La série est le produit d'une collaboration, d'une coopération entre les multiples sous-systèmes. Une telle absence de hiérarchie, de pilote dirigeant l'évolution du système, peut a priori surprendre. Les perspectives cognitivistes nous ont habitués à l'image d'un système moteur piloté par le cortex, ou d'un comportement piloté par les traits de personnalité. Lorsqu'une série présente un comportement fractal, on est amené à penser que le système qui l'a produit fonctionne plutôt sur le mode de « l'autogestion participative ». Le réseau mondial internet est illustratif de ce type de fonctionnement. Selon de Rosnay (1998), « *internet est un réseau spontané, émergent, en co-évolution accélérée avec son environnement humain. Il est chaotique, anarchique, totalement décentralisé. Aucune administration centrale ne le dirige, personne ne le possède et plus personne ne peut arrêter son développement* ». On a montré en effet que le flux des informations sur le réseau présentait une structure fractale.

La pente linéaire du spectre permet de mesurer les corrélations présentes dans la série analysée. Lorsque aucune corrélation n'est présente, la pente du spectre bi-logarithmique est égale à zéro. C'est le cas pour les séries stochastiques non corrélées dont nous avons déjà parlé plusieurs fois. Dans ce cas on se rappelle que la série est totalement imprédictible. Plus les corrélations augmentent dans le signal, plus la pente va devenir négative. Lorsque les corrélations deviennent très élevées, la série devient au contraire très prédictible. La figure 22 illustre cette évolution du désordre le plus complet (la première série est complètement aléatoire), jusqu'à l'apparition de l'ordre et de la prévisibilité.

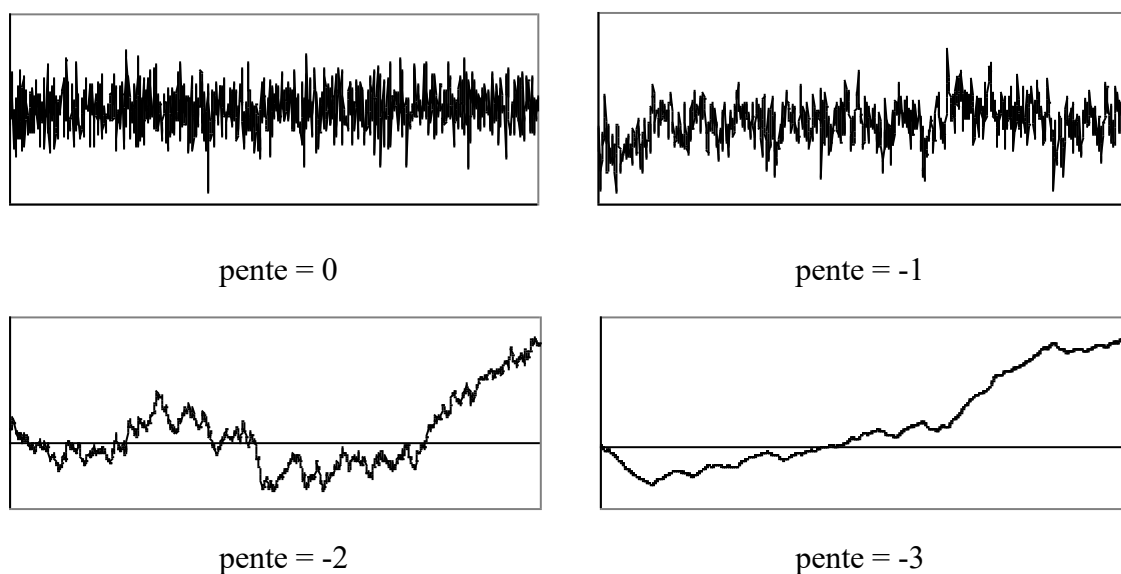


Figure 22 : Évolution de la forme des séries avec la valeur de pente du spectre

Les séries fractales sont caractérisées par une pente proche de -1. Dans ce cas, l'amplitude est inversement proportionnelle à la fréquence, c'est pourquoi on a baptisé ce cas particulier le *bruit 1/f*. Le bruit  $1/f$  représente ce que l'on pourrait appeler un compromis optimal entre le désordre incontrôlable des séries aléatoires, et l'ordre trop strict des séries trop prévisibles. On a déjà évoqué cette idée lorsque nous avons parlé du Chaos déterministe. Le Chaos était lui aussi à mi-chemin entre l'ordre et le désordre, « *entre le cristal et la fumée* » pour reprendre l'expression fameuse d'Henri Atlan (1986). Les fluctuations fractales renvoient à la même notion de compromis entre l'imprévisibilité totale et le déterminisme strict. Notons que cette notion permet de faire dialoguer de manière intelligible ordre et désordre, ce qui était l'un des enjeux du principe dialogique d'Edgar Morin.

De nombreuses recherches ont été réalisées pour détecter l'éventuelle présence de fluctuations fractales, jusque-là ignorées, dans les produits des systèmes complexes. Les résultats tendent à montrer que les fractales constituent plus la norme que l'exception. On a ainsi mis en évidence de telles fluctuations dans l'évolution temporelle du débit des grands fleuves (Hosking, 1984), dans l'évolution des marchés financiers (Lo, 1991), dans le débit des télécommunications (Taqq, Teverovski, et Willinger, 1995), dans la récurrence des tremblements de terre (Corral, 2004), ou encore dans le rythme cardiaque (Peng, Mietus, Hausdorff, Havlin, Stanley, et Goldberger, 1993). Un certain nombre de travaux récents, menés notamment à l'université de Montpellier dans les domaines de la psychologie sociale et du contrôle moteur, convaincront sans doute encore mieux le lecteur de l'intérêt de ce phénomène.

Les premiers ont concerné les fluctuations de l'estime de soi. Selon Coopersmith (1984), l'estime de soi est définie comme « *l'expression d'une approbation ou d'une désapprobation portée sur soi-même. Elle indique dans quelle mesure un individu se croit capable, valable, important* ». L'estime de soi a longtemps été considérée comme un trait de personnalité, une disposition stable. Chaque individu était ainsi caractérisé par une estime de soi élevée, ou à l'inverse faible, et cela faisait partie de sa personnalité. Si certains admettaient qu'au cours de la vie, et en fonction d'événements particuliers (échecs, réussites) l'estime de soi puisse évoluer, aucun travail de recherche n'avait réellement envisagé de l'étudier dans une perspective dynamique, c'est-à-dire du point de vue de son évolution temporelle. Certains auteurs (par exemple Kernis, 1993) avaient émis l'idée selon laquelle, au-delà du niveau de l'estime de soi (haute ou basse), sa variabilité pouvait être l'indice d'une certaine fragilité. Mais aucun effort n'avait réellement été fait pour comprendre comment cette variabilité se construisait dans le temps.

Ce projet a nécessité la mise au point d'un outil d'évaluation permettant de répéter la mesure de manière au moins quotidienne, et de détecter des variations, fussent-elle infimes, de l'estime de soi. Cet outil, le PSI-6, a été validé en 2001 (Ninot, Fortes et Delignières, 2001). Il s'agit d'un questionnaire court, auquel les sujets répondent au moyen d'une échelle visuelle analogique<sup>16</sup>. Cet outil nous a permis de réaliser une étude déterminante, au cours de laquelle des sujets ont répondu au questionnaire durant une très longue période. La figure 23 donne une idée des séries obtenues : elle représente l'évolution de l'estime de soi, chez un sujet jeune, en bonne santé et professionnellement actif, sur une durée de 25 mois (à raison de deux mesures par jour, matin et soir).

L'analyse statistique de ces séries a clairement montré leur caractère fractal (Delignières, Fortes et Ninot, 2004 ; Delignières, 2007). L'application de l'analyse spectrale révèle une pente aux alentours de -1, et l'ensemble des méthodes employées a confirmé la présence de bruit  $1/f$ . Ce résultat suggère évidemment que l'estime de soi ne puisse être considéré comme un trait, une valeur de référence stable caractérisant le système. L'estime de soi paraît au contraire construite au jour le jour, par un système d'une grande complexité. Les séries que nous avons analysées sont évidemment marquées de multiples perturbations, événements de vie heureux ou malheureux. Elles sont ponctuées de phases favorables ou plus difficiles, le tout sur des échelles de temps multiples. Leur caractère fractal atteste cependant de leur grande stabilité intrinsèque. Comme on peut le voir en figure 23, cette série collectée sur plus de deux ans reste confinée dans une frange étroite de l'échelle d'auto-évaluation (entre

---

<sup>16</sup> Une échelle visuelle analogique se présente sous la forme d'une ligne, ponctuée aux deux extrémités de deux labels, par exemple « pas du tout » et « tout à fait ». Le sujet répond en plaçant un curseur sur la ligne, à l'endroit où il estime se situer entre ces deux extrêmes. On mesure alors la distance entre l'origine de la ligne et le curseur. Cette méthode permet d'éviter que le sujet « apprenne » la réponse et la reproduise d'une mesure à l'autre. Classiquement, les questionnaires utilisent plutôt les échelles dites de Lickert, constitués d'une série d'échelons de réponse (par exemple : 1. Pas du tout, 2. Un peu, 3. Plutôt, 4. Tout à fait).

6 et 8 sur une échelle de 10). A aucun moment on ne voit apparaître d'accident majeur, comme si la dynamique fractale permettait de préserver l'intégrité du système tout en s'adaptant aux événements (Fortes, Delignières et Ninot, 2004).

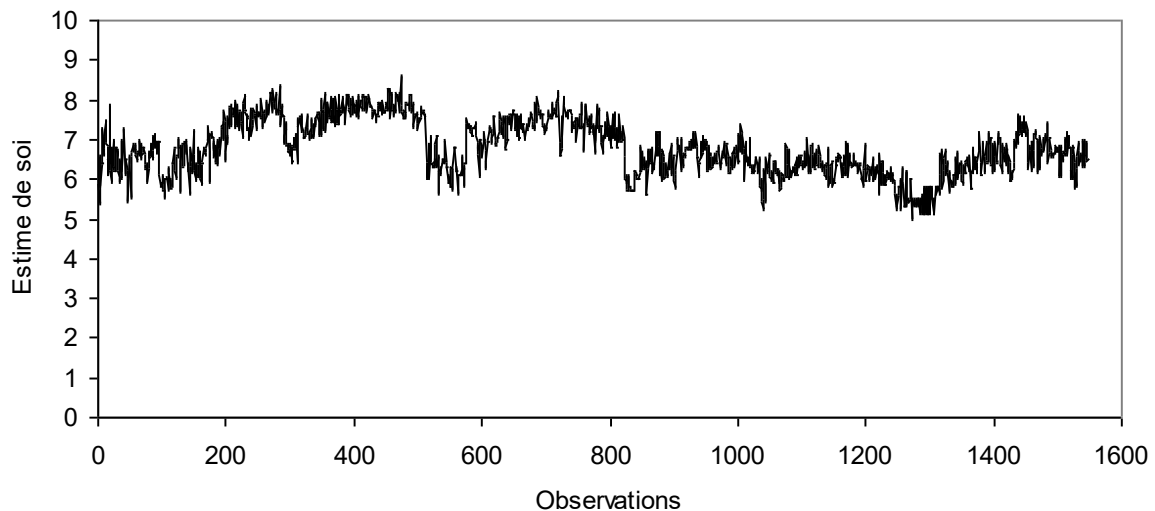


Figure 23 : La dynamique de l'estime de soi. Ce graphe représente une série de 1547 auto-évaluations bi-quotidiennes de l'estime de soi (soit 773 jours consécutifs).

Ces résultats ont des conséquences théoriques importantes. Ils indiquent notamment que l'estime de soi varie dans le temps sans valeur de référence. L'estime de soi ne peut donc être considérée comme un trait de personnalité, une caractéristique stable de l'individu. C'est plutôt une construction permanente, dynamique. Cette construction est le produit d'un système complexe, comme en atteste son caractère fractal.

Lors de ce travail, nous n'avons pas uniquement analysé l'estime de soi, mais également d'autres dimensions supposées constitutives de l'estime générale de soi. Il s'agissait notamment de la « valeur physique perçue », spécification de l'estime de soi dans le domaine corporel, et quatre autres dimensions, « endurance perçue », « force perçue », « apparence corporelle », et « compétence sportive perçue », supposées être les composantes de la valeur physique perçue. Nous avons donc analysé le système au plus haut niveau, puis l'un des sous-systèmes, et enfin quatre sous-sous-systèmes. Les résultats indiquent qu'à tout niveau du système, on retrouve le même type de fluctuations fractales. Ce résultat est cohérent avec des idées évoquées dans le chapitre dédié à la pensée complexe, selon lesquelles la complexité pouvait se retrouver à tous les niveaux d'un système, même si l'on cherchait à en isoler les « éléments ».

Un certain nombre de travaux ont également mis en évidence des fluctuations fractales dans des tâches motrices usuelles. Notamment Hausdorff, Peng, Ladin, Wei, et Goldberger (1995) ont montré la fractalité de la durée des foulées successives lors de la marche, et plus récemment Jordan, Challis, et Newell (2006) ont confirmé ce résultat pour la course. Wing, Daffertshofer et Pressing (2004) ont mis en évidence du bruit  $1/f$  dans une tâche de production sérielle de force. Ce type de corrélation a également été mis en évidence dans nombre de tâches classiques de psychologie expérimentale, comme les tâches de temps de réaction ou les tâches de rotation mentale (Gilden, 2001 ; van Orden, Holden et Turvey, 2003). Il a également été montré que les fluctuations des intervalles produits lors de tapes répétées de l'index (voir un exemple des séries analysées en figure 17) présentent également une structure fractale, ainsi que les intervalles produits par les oscillations répétées d'un joystick (Delignières, Lemoine et Torre, 2004 ; Lemoine, Torre et Delignières 2006, Delignières, Torre, et Lemoine, 2008 ;

Gilden, Thorton et Mallon, 1995). Dans une expérience récente, nous avons demandé à des sujets de réaliser une tâche de coordination bimanuelle, en réalisant avec les deux avant-bras des oscillations en phase (Torre et Delignières, 2008). Nous avons analysé les fluctuations produites au niveau de chaque effecteur (c'est-à-dire les fluctuations dans la durée des oscillations successives de chaque main), ainsi que les fluctuations au niveau de la coordination des deux mains (au niveau de la phase relative). Les résultats, illustrés en Figure 24, ont montré que l'on retrouvait des fluctuations fractales à tout niveau. Chaque main produit du bruit  $1/f$  dans ses oscillations successives. Mais le système formé par la coordination des deux mains produit également du bruit  $1/f$ , au niveau de la phase relative. On retrouve ici les idées développées précédemment à propos de l'estime de soi. Le système présente à tout niveau (ici au niveau de la coordination, mais aussi au niveau de ses composants) les signatures typiques de la complexité. Une tâche aussi « simple » (c'est du moins ce que l'on a souvent reproché à ce type d'expérimentation) se présente comme un système infiniment complexe, composé de sous-systèmes tout aussi complexes. Cette expérience a également révélé que la pente des spectres était systématiquement la même entre main droite et main gauche, lorsque les deux mains étaient coordonnées. Ceci constitue un bel exemple du principe d'esclavage évoqué au chapitre précédent : des éléments engagés dans un système conservent leur dynamique propre, mais le système leur impose cependant une discipline commune, que l'on retrouve ici sous la forme d'une homogénéisation de l'invariance d'échelle.

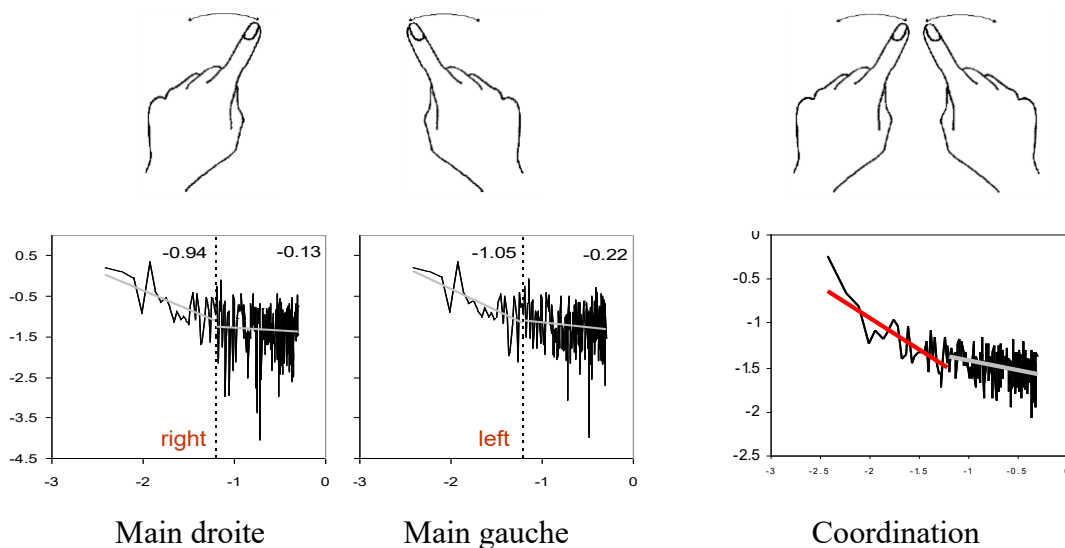


Figure 24 : Spectres de puissance obtenus dans une tâche de coordination bimanuelle. Les deux graphes de gauche représentent les spectres obtenus pour les séries de périodes produites par chacune des deux mains. Le graphe de droite représente la série de phases relatives produite par la coordination. Dans tous les cas les analyses révèlent le caractère fractal des séries (d'après Torre et Delignières, 2008).

Comme on le voit, la liste est longue des tâches où l'exercice répété produit des fluctuations fractales. Ce qui est surprenant dans l'ensemble de ces travaux, c'est qu'aucun des modèles classiquement élaborés pour ces tâches n'est capable de rendre compte de ce type de fluctuations. Par exemple, ni le modèle très classique de Wing et Kristofferson (1973) pour les tâches de tapping, ni le modèle de Haken, Kelso et Bunz (1985) pour les coordinations bimanuelles, ne permettent de prédire l'apparition de corrélations à long terme. Il a donc fallu

amender ces modèles, et proposer des formalisations plus complexes pour en rendre compte (Delignières, Torre et Lemoine, 2008 ; Torre et Delignières, 2008, West et Scafetta, 2003).

Malgré un vif débat théorique à ce sujet, les auteurs s'accordent généralement à considérer le bruit  $1/f$  comme la signature naturelle de la dynamique intrinsèque des systèmes complexes (Gilden, 2001 ; Kello, Beltz, Holden, et van Orden, 2007 ; Torre et Wagenmakers, 2008 ; van Orden, Holden et Turvey, 2003). A partir du moment où un système produit ce type de fluctuations, toute hypothèse simpliste, visant à réduire son fonctionnement à quelques processus élémentaires, doit être définitivement abandonnée. A ce titre l'ubiquité du bruit  $1/f$ , y compris dans des situations extrêmement simples qui ont fondé des pans entiers de la science classique, n'a pas fini de questionner les chercheurs.

Ce qu'il faut retenir de ces résultats, c'est que si le caractère fractal des fluctuations signe la complexité des systèmes qui les produisent, des processus aussi basiques que des habiletés rythmiques, ou l'auto-évaluation de soi, semblent sous-tendus par des systèmes extrêmement complexes. Or ce sont ces processus qui s'agrègent pour former les compétences. Il est méthodologiquement difficile de mettre en évidence le caractère fractal des compétences, c'est pourquoi les chercheurs se limitent souvent à des tâches élémentaires, dans lesquelles on peut observer de manière prolongée un système en état à peu près stable. Mais ces résultats suggèrent fortement que la compétence, agrégat de sous-systèmes fractals, présente également des propriétés fractales.

Cette idée est intéressante car elle suggère la nature de la collaboration entre les ressources au sein de la compétence. Il n'y aurait ainsi pas dans une compétence de ressource dominante, supplantant toutes les autres qui se mettraient en quelque sorte au service de ce leader. Cette structure fractale suggérerait au contraire la contribution homogène de ressources diverses, et également une certaine redondance à l'intérieur du système. En cas de dysfonctionnement, certaines configurations de ressources pourraient ainsi substituer d'autres, pour maintenir un fonctionnement satisfaisant de l'ensemble.

### **Fractalité, complexité et santé**

Un dernier aspect du problème qui lui donne actuellement une résonance particulière est les liens étroits que semblent partager fractalité et santé. La figure 25 est particulièrement illustrative de ces relations. On a représenté quatre séries temporelles d'intervalles inter-battements cardiaques. On le voit, ces séries présentent des dynamiques tout à fait différentes. La première est extrêmement stable, la seconde paraît singulièrement chaotique, comme d'ailleurs la dernière, et la troisième semble présenter une périodicité tout à fait régulière. En fait, la première série et la troisième ont été enregistrées auprès de patients ayant subi des infarctus sévères. La quatrième provient d'un patient souffrant d'arythmie cardiaque. La seconde courbe, la plus irrégulière, a par contre été obtenue auprès d'un sujet en pleine santé. C'est la seule qui présente des propriétés fractales.

Comme il a été expliqué précédemment, le fonctionnement fractal du cœur sain suggère que ses battements sont le produit d'un système complexe. De nombreux sous-systèmes collaborent pour produire le rythme cardiaque : certains induisent des fluctuations à très longue période (par exemple les rythmes circadiens), d'autres à des fréquences plus élevées, et notamment les différents centres nerveux qui collaborent au sein même du cœur pour produire les battements. L'importance de leurs contributions respectives suit une invariance d'échelle caractéristique. Les deux cœurs ayant subi des infarctus semblent au contraire avoir perdu leur complexité. Ceci est particulièrement évident pour le troisième patient : le signal semble avoir été produit par un seul sous-système, pulsant selon une fréquence clairement identifiable. On comprend qu'un tel cœur présente une grande fragilité : en cas d'accident affectant le seul système encore en état de marche, c'est la mort assurée. Quant au sujet souffrant d'arythmie, le

rythme cardiaque qu'il produit apparaît comme une série complètement aléatoire, autour d'une valeur moyenne. Si l'on en calculait le spectre de puissance, toutes les composantes présenteraient des puissances similaires (le spectre aurait une pente nulle) : ce cœur a perdu la propriété d'invariance d'échelle caractérisant le cœur sain.

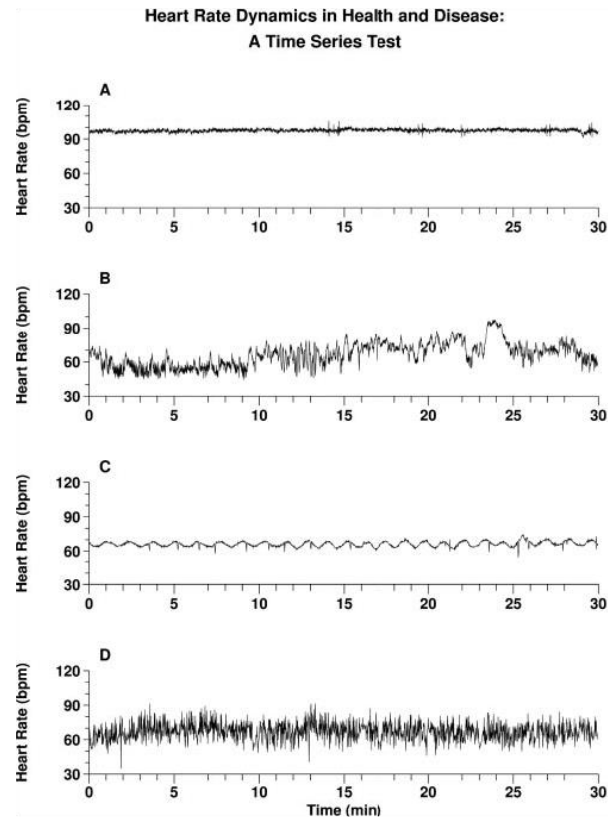


Figure 25: Quatre séries typiques d'intervalles inter-battements cardiaques (Goldberger, Amaral, Hausdorff, Ivanov, Peng et Stanley, 2002). Voir commentaires dans le texte.

Hausdorff, Mitchell, Firtion, Peng, Cudkowicz, Wei, et Goldberger (1997) ont produit des résultats similaires dans leurs études sur la marche, montrant que la fractalité observée chez les sujets jeunes et en bonne santé tendait à disparaître chez les sujets âgés ou chez des patients atteints de la maladie de Huntington. Pour ces deux groupes de patients les séries de pas deviennent aléatoires, et cette dérive vers le désordre est d'autant plus marquée que les symptômes de la maladie de Huntington sont installés, ou que les sujets âgés présentent une propension à la chute. Ici aussi, la pathologie semble dériver d'une réduction de la complexité du système, et donc, paradoxalement, d'un accroissement du désordre en son sein. Le bruit  $1/f$ , parce qu'il constitue un compromis optimal entre ordre et désordre, permet simultanément de maintenir la stabilité du système, mais aussi de le doter de capacités d'adaptabilité et de flexibilité, essentielles pour résister aux infidélités de l'environnement (van Orden, 2007). C'est parce que la marche est fractale qu'elle permet de s'adapter en souplesse aux irrégularités du terrain, aux cailloux qui traînent ou aux flaques d'eau.

Ces résultats mettent l'accent sur une manifestation particulière de la maladie, révélée par une altération des rythmes produits par l'organisme. Certains auteurs ont proposé le concept de *maladie dynamique* pour désigner ces pathologies qui affectent davantage la dynamique des systèmes que des éléments particuliers les constituant (Bélaïr, Glass, An Der Heiden, et Milton, 1995 ; Mackey et Glass, 1977). Il est en effet important de noter que dans ce type de pathologie,

c'est en effet au niveau des propriétés macroscopiques du système qu'il convient de chercher l'origine des troubles, et le traitement doit donc s'appuyer sur ces propriétés dynamiques.

Enfin ces idées suggèrent que la fractalité puisse être en définitive le résultat de l'apprentissage. L'apprentissage est en effet conçu comme l'installation progressive de la stabilité, mais aussi de l'adaptabilité et de la flexibilité du comportement. On pourrait considérer l'apprentissage comme l'installation progressive d'un niveau optimal de fractalité, d'un équilibre harmonieux entre les différentes ressources du système. Cette hypothèse est difficile à tester expérimentalement, mais elle offrirait une lecture tout à fait inédite de ce problème. En ce qui concerne la construction des compétences, ceci suggérerait par exemple que la compétence puisse être à un moment donné dominée par une de ses ressources constitutives (par exemple une habileté particulièrement développée), et que progressivement le système s'homogénéise en intégrant d'autres ressources et en les faisant travailler conjointement. C'est ce type d'idée que nous voulions mettre en avant en définissant la compétence comme « systèmes structuré et cohérent de ressources » (Delignières et Garsault, 1993).

## Chapitre 6

### Complexité et compétence

Les trois chapitres précédents ont été consacrés à la présentation, essentiellement théorique, de grands courants scientifiques dédiés à l'étude des phénomènes complexes. Même si j'ai ici et là fait allusion aux liens qui pouvaient être faits avec le concept de compétence, une théorie de la compétence comme système complexe reste à élaborer.

#### La compétence comme système complexe

L'ubiquité de la fractalité, tant dans les objets, les organismes, que dans la dynamique de leur fonctionnement, nous incite à considérer ce phénomène comme une donnée première, une clé indispensable de compréhension du monde qui nous entoure. C'est dans ce cadre conceptuel qu'il convient de comprendre le concept de compétence, tels que nous avons tenté de le définir en Éducation Physique (Delignières et Garsault, 1993, 1998, 2004). La compétence n'est pas que l'agrégat de connaissances disparates, elle est avant tout une dynamique d'action, face à des situations complexes, où il s'agit non seulement de résoudre des problèmes, mais surtout de choisir les problèmes qu'il est judicieux de résoudre, sur des critères qui ne relèvent pas uniquement de l'efficacité immédiate, mais aussi de préoccupations éthiques et citoyennes. La compétence est un ensemble de ressources, constituant autant de sous-systèmes interpénétrés, possédant chacun leur sphère de pertinence mais s'exprimant toujours dans le cadre global de la compétence qui les intègre. Certains de ces sous-systèmes sont en charge de processus sensori-moteurs, dans des tâches très spécialisées ; d'autres, à la pertinence plus générale, sont dédiés aux activités décisionnelles, à l'analyse ou à l'interprétation. Certains enfin, à l'empan très vaste, concernent l'insertion de l'action dans un système de valeurs, d'émotions, de motivations. Ces sous-systèmes, dont l'expression renvoie à ce qui a été par ailleurs qualifié d'habiletés, de systèmes de connaissance, ou d'attitudes, présentent les mêmes différences d'échelles (il faudrait ici parler d'échelles fonctionnelles, plutôt que d'échelles géométriques ou temporelles) que les processus fractals dont il a été fait mention plus haut. Mais ils sont impliqués simultanément dans l'exercice de toute tâche relevant de la compétence qui les intègre. La compétence n'est pas une connaissance que l'on applique, mais un système complexe que l'on mobilise, selon un processus toujours recommencé. Ainsi, si l'on peut dire pour simplifier qu'une situation pédagogique particulière va permettre l'exercice spécifique d'un de ces sous-systèmes, c'est l'ensemble de la compétence qui s'en trouvera nécessairement affecté.

#### Différents régimes de fonctionnement

Dans la mesure où la situation à laquelle on est confronté est susceptible d'évoluer dans le temps, on ne fera pas toujours appel aux mêmes ressources. Une compétence doit permettre de faire face à toutes les situations survenant dans l'exercice d'un métier, des situations les plus

usuelles aux situations de crise majeure. Fort heureusement l'exercice quotidien de la compétence est surtout confronté aux premières, et la plupart des travailleurs arrivent au bout de leur carrière sans avoir eu à faire face à des situations exceptionnelles. Il n'empêche que la compétence doit permettre le cas échéant de trouver des solutions face à ce type de situation. On peut penser dès lors que la compétence est susceptible de fonctionner selon plusieurs régimes : par exemple un régime de croisière, surtout fondé sur l'exploitation de routines économiques, un régime supérieur, notamment lorsque la charge de travail ou la pression temporelle commencent à obliger le sujet à établir des priorités, et enfin un régime de crise, dans lequel il s'agira d'agir vite pour satisfaire des enjeux vitaux. Suivant l'évolution de la situation le sujet peut transiter d'un régime à l'autre, un peu comme le cheval passe du pas au trot, puis du trot au galop, lorsque la vitesse de déplacement augmente.

Il convient de distinguer sans ambiguïté *niveau de compétence* et *régime de fonctionnement*. Le niveau de compétence caractérise un individu, et renvoie à la complexité des situations qu'il est en principe capable de maîtriser. On pourra par exemple distinguer les niveaux de compétence du débutant, du débrouillé, de l'expérimenté, ou de l'expert. On fait l'hypothèse que dans cette hiérarchie, les compétences sont de plus en plus complexes, composées de ressources davantage développées et diversifiées, et entretenant des relations de plus en plus riches. Les registres de fonctionnement renvoient à la nature de la compétence mise en jeu dans une situation donnée. On peut penser qu'un débutant ne disposera que d'un seul registre de fonctionnement, et sera vite débordé si la situation se complexifie. Par contre, un expert possède plusieurs registres, et adopte le plus économique dans une situation donnée.

Comment caractériser théoriquement ces différents régimes ? Une première hypothèse serait qu'un régime de niveau supérieur agrège davantage de ressources. Cette hypothèse renvoie à un élargissement fonctionnel de la compétence, ou à la mise en jeu de ressources initialement « dormantes ». Une seconde manière de penser ce changement de régime serait de supposer un enrichissement du réseau des interactions entre ressources constitutives. Nous n'avons pour le moment aucun moyen de trancher entre ces deux hypothèses, qui par ailleurs ne sont pas exclusives.

En référence à la théorie des systèmes dynamiques, on peut penser chacun de ces régimes comme un attracteur de la compétence, un état stable qui émerge des contraintes de la situation. A chaque changement de régime, on assiste à une réorganisation du système des ressources, et à la mise en place d'une structure différente. On peut d'ailleurs faire l'hypothèse que ces changements de régime devraient présenter un phénomène d'hystérésis, qui est considéré comme une des signatures des systèmes complexes. L'hystérésis peut être illustrée par l'exemple de la transition marche-course : lorsque l'on met un sujet sur un tapis roulant à 5 km/h, il se met spontanément à marcher. Si l'on accroît la vitesse du tapis, il va se mettre à courir aux alentours de 8 km/h. Si maintenant on diminue la vitesse du tapis, à partir d'une vitesse où la course est la réponse naturelle, on va observer une nouvelle transition, de la course vers la marche. Mais alors que l'on aurait pu s'attendre à ce que les deux transitions apparaissent à la même vitesse, on remarque que lorsque la vitesse du tapis diminue le sujet transite de la course à la marche à une vitesse plus faible que dans l'autre sens, aux alentours de 7 km/h. C'est cette différence des vitesses de transition, en fonction du sens d'évolution du paramètre de contrôle, que l'on appelle l'hystérésis. Si le système ne présentait pas d'hystérésis, il existerait une vitesse critique absolue (par exemple 7.5 km/h), en deçà de laquelle la marche émergerait, et au-delà de laquelle ce serait la course. Dans un système avec hystérésis, le système va conserver son pattern initial (marche ou course) un peu plus longtemps qu'on aurait pu le prévoir. L'hystérésis suggère que le système est sensible à son histoire, c'est-à-dire à l'état dans lequel il aborde la zone critique. On peut supposer que la compétence présente ce type de propriété.

## Les compétences collectives

Je n'ai pour le moment évoqué que les compétences individuelles. Mais souvent les individus affrontent en groupe les situations complexes. C'est notamment le cas dans de nombreux sports, où ce sont des équipes qui s'affrontent en compétition. Suite à ce qui a été dit précédemment des systèmes complexes, on comprendra aisément que les compétences des joueurs ne s'additionnent pas simplement sur le terrain. L'équipe est autre chose qu'une collection d'individus. Le groupe possède en propre une compétence, nécessairement collective.

Tout ce qui a été dit précédemment sur les systèmes complexes peut être repris ici. La compétence collective représente davantage que la simple juxtaposition des compétences individuelles. Elle possède des propriétés macroscopiques, qui concernent l'action collective, et qui ne peuvent être déduites des compétences de chacun. En retour, la compétence collective affecte la compétence de chaque joueur, par exemple en imprimant un style de jeu commun.

On peut supposer que le niveau de compétence collective est lié à la cohésion du groupe. La cohésion a été définie par Carron (1982) comme « un processus dynamique qui se caractérise par la tendance d'un groupe à se serrer les coudes et à demeurer uni dans la poursuite de ses objectifs ». On distingue deux composantes à la cohésion. La cohésion opératoire, qui renvoie au degré de collaboration au sein du groupe dans la poursuite de l'objectif commun, et la cohésion sociale qui correspond au degré d'attraction réciproque entre les membres du groupe. On conçoit que ces deux composantes sont essentielles pour mettre en interaction les individus, et dans ce qui nous intéresse ici leurs compétences. L'influence de la cohésion sur la performance a été clairement démontrée. Cet effet vient avant tout de la cohésion opératoire, et ce d'autant plus que le sport concerné requiert des interactions entre individus (par exemple en sports collectifs).

Il semble qu'un déterminant central de la cohésion soit le degré de satisfaction personnelle de chaque membre du groupe, vis-à-vis de l'équipe dans son ensemble et vis-à-vis des autres membres. D'autres facteurs ont une influence, tels que les résultats de l'équipe, la communication entre membres, la prégnance des buts collectifs, ou les efforts du leader pour installer la cohésion. On a aussi pu montrer que la stabilité des groupes favorisait leur cohésion. Ce résultat suggère que la cohésion, en tant que processus dynamique, possède une histoire et que son installation demande du temps. Cette dynamique a été décrite par Tuckman (1965) au travers de quatre étapes : lors d'une première étape de *formation*, les co-équipiers se découvrent dans un enthousiasme éphémère. Une seconde étape dite de *rébellion* révèle un ensemble de frustrations liées à l'identification des contraintes réelles du nouveau système. Une troisième étape de *normalisation* permet la détermination d'objectifs communs et de normes de fonctionnement admises. Ceci permet à l'équipe d'accéder à l'étape de *performance*, au cours de laquelle la cohésion peut s'exprimer pleinement. Le fait que la cohésion demande du temps est important dans les cours d'Éducation Physique, où l'on sait que l'enseignant a souvent tendance à modifier fréquemment la constitution des groupes de travail (Bordes, 2002). L'auteur montre que dans les activités d'opposition individuelle ou collective, les enseignants alternent selon les séances et les situations entre groupes homogènes (les élèves sont regroupés en fonction de leur niveau pour mener un travail spécifique) ou hétérogènes (la classe est divisée en équipes de niveaux homogènes entre elles, hétérogènes en leur sein). Le regroupement des élèves est piloté par les exigences didactiques (quel est, pour la tâche en cours, le mode de regroupement le plus efficace ?). Paradoxalement, l'équipe sportive, le club, le collectif stable qui constituent les piliers des pratiques sociales de référence sont complètement évincés de l'enseignement de l'Éducation Physique (Delignières et Garsault, 2004). Certains soutiennent même l'idée qu'il soit nécessaire de modifier la constitution des équipes de manière systématique, de manière à intégrer l'ensemble des élèves et à éviter la cristallisation de clans.

Je pense à l'inverse que la constitution de collectifs stables est essentielle à la mise en place de la cohésion, et donc à l'émergence de la compétence collective. Durand (2001) relate un épisode intéressant à ce propos : lors d'une leçon de basket-ball, une fille sort du terrain, au prétexte que les garçons de son équipe ne la font pas jouer. L'enseignant rappelle alors à la classe qu'ils sont constitués en équipes stables jusqu'au tournoi interclasse, et que chacun doit être concerné par les progrès des membres de son équipe. La suite de la leçon est caractérisée par un engagement important de chacun, et une coopération constructive entre élèves.

### **Décrire les compétences**

Cette conception de la compétence en tant que système complexe a une conséquence importante : si la compétence est en effet un ensemble complexe de ressources, il serait vain d'espérer lister de manière exhaustive l'ensemble de ses ressources constitutives. Toute tentative d'approche analytique est vouée à l'échec et ne pourra déboucher que sur une caricature, un squelette sans signification. Je conçois le caractère décevant de cette proposition, tant on a été habitué à lister les connaissances, habiletés, capacités à développer chez les élèves.

Prenons l'exemple de la compétence du grimpeur. Si l'on voulait en lister les composantes, on pourrait citer :

- Des habiletés motrices spécifiques, des manières de faire face à des configurations typiques des passages : oppositions, pieds-mains, transferts d'appui, techniques d'adhérence, etc.,
- La capacité à communiquer avec les autres, en utilisant un code précis et efficace,
- La capacité à lire l'environnement, à comprendre un topo-guide,
- La maîtrise des techniques d'encordement, d'assurage, de rappel, de relais, de moufflage, de remontée sur corde fixe,
- La connaissance du matériel, de ses caractéristiques techniques,
- La capacité à s'évaluer, à savoir ce dont on est capable,
- L'écoute de ses compagnons de cordée, de leur niveau de forme et de motivation,
- La capacité à renoncer,
- Le respect du terrain de jeu et de l'environnement.

Ce listing serait complexifiable à l'infini. On peut à l'envi ajouter des catégories ou détailler celles qui sont déjà ouvertes. En fonction du niveau de compétence, chacune de ces ressources sera plus ou moins développée. Mais on l'a vu la compétence ne se réduit pas à ce listing. C'est surtout les interactions entre ces ressources qui vont la définir. Prendre la décision de ne pas équiper un point d'assurage, pour économiser le matériel en prévision de la suite de la voie, pour éviter les frottements de cordes, et parce que l'on a confiance en sa capacité de franchir un passage et dans celle de son assureur pour contrer une chute éventuelle : voilà un exemple de processus émanant de la compétence.

Lister l'ensemble des connaissances à transmettre à l'élève est un exercice classique dans les épreuves des concours de recrutement. Il y a sans doute une certaine cruauté chez l'examineur spécialiste à rechercher l'oubli fatal, la ressource essentielle qui aurait été négligée par le candidat. Je ne nie pas par ailleurs que cet exercice soit complètement dénué d'intérêt. Je pense en effet que l'enseignant doit avoir à l'esprit l'ensemble des constituants des compétences qu'il envisage d'enseigner. Mais pas sous la forme d'une liste, comme autrefois on apprenait la liste des départements, avec préfectures et sous-préfectures. Il s'agirait plutôt d'une appropriation fonctionnelle, liée au fait que l'enseignant lui-même devrait posséder la compétence dont il envisage l'enseignement. Nous avons déjà évoqué dans un précédent ouvrage cette nécessité pour les professeurs d'Éducation Physique de maîtriser les activités qu'ils enseignent (Delignières et Garsault, 2004).

Mais parce que la compétence ne se réduit pas à ce listing, son énonciation exhaustive est un objectif peu réaliste, et certainement peu utile. On peut parler de la compétence, et les spécialistes des métiers et des activités sont souvent intarissables à ce sujet. Ce qui ne veut pas dire que le sujet puisse être épuisé. En fait, il me semble que la seule manière de cerner une compétence est de décrire la situation dans laquelle elle est sensée s'exprimer. « *Au cours d'une séance de trois heures, les élèves seront capables, en cordées de trois et en toute autonomie, dans un site naturel aménagé, de réaliser quatre voies de difficulté minimum 5c/6a* ». Un enseignant maîtrisant l'activité n'aura aucun problème pour reconstituer l'ensemble des ressources nécessaires pour faire face à cette situation. Klein (2000) évoque un exemple intéressant : « la compétence à organiser et réaliser collectivement une descente de rivière suppose tout à la fois de réaliser des « appels », de lire une ligne d'eau, de connaître les points difficiles de la rivière sur le topo guide, de savoir répartir son effort sur un temps long, de s'émouvoir, de se maîtriser, de participer à la construction de règles collectives, de se sensibiliser au respect de l'environnement ». Mais surtout cette situation contraint les ressources à interagir entre elles, dans une logique qui n'est guère élucidable, et qui est sans doute spécifique à chaque pratiquant. Un intéressant exemple est fourni par Coston (2002), qui propose de finaliser un cycle de saut de cheval par la compétence suivante : « construire à deux, apprécier et réaliser devant la classe deux sauts ». Derrière cette formulation d'apparence simpliste, c'est en fait une situation extrêmement complexe qui est construite par l'auteur, au sein de laquelle les élèves devront tour à tour apprendre, se préparer, performer, juger, aider et parer, apprécier en tant que spectateur. On peut sans trop de problème lister les multiples savoir-faire et connaissances que les élèves devront s'approprier pour y parvenir.

### **Agir dans l'incertitude**

On l'a fréquemment évoqué précédemment, une des caractéristiques essentielles des situations complexes est l'incertitude qu'elles génèrent. Un certain nombre de procédures ont été proposées pour optimiser les décisions en situation incertaine. La plus simple est sans doute le modèle expectation-valence, déjà utilisé par Pascal dans son fameux pari. L'expectation renvoie à la probabilité de succès lié à chaque alternative de décision. La valence, ou utilité, correspond aux bénéfices que l'on peut espérer dans chaque alternative en cas de succès. La décision optimale est celle qui optimise le produit expectation-valence. Le tableau 1 présente une simulation d'une telle recherche d'optimisation. On a représenté onze alternatives, caractérisées par des expectations (exprimées en pourcentages) de 1 à 99% de chances de succès. Les valences (exprimées en euros) sont indiquées dans la colonne suivante, et les produits expectation-valence dans la dernière.

Comme on le voit, les solutions présentant les plus fortes valences (solutions A et B) se révèlent assez hasardeuses du fait de leur faibles chances de réussite. Les solutions les moins risquées (J et K) ne sont guère plus intéressantes, du fait de la faiblesse des gains espérés. C'est en fait la solution G, avec 60% de chances de succès et 70€ de gains espérés, qui paraît être la décision optimale.

Cette simulation est extrêmement frustrante, et des propositions beaucoup plus sophistiquées ont été proposées pour étayer les prises de décision. Mais on comprend les principes qui sous-tendent cette démarche : donner des critères rationnels, quantitatifs, pour guider la décision dans des situations incertaines. Face à une situation complexe, cependant, l'utilisation des méthodes rationnelles de décision ou d'optimisation ne semble présenter qu'un intérêt limité. L'efficacité de telles méthodes demande que tous les aspects de la situation soient cernés pour être soumis à l'analyse. Or, en situation complexe, il n'est justement pas possible de construire un modèle exhaustif. Par conséquent, il n'y a aucune raison pour que l'optimum calculé soit l'optimum effectif. Par ailleurs, la situation est le plus souvent mouvante. L'adaptation doit alors être rapide, car dans un environnement complexe plus une prise de

décision est éloignée de sa mise en application, plus on risque que le contexte change à nouveau dans l'intervalle.

Tableau 1 : Simulation d'une fonction d'optimisation. L'expectation renvoie au pourcentage de chance de réussite, et la valence au gain attendu (en euros). La dernière colonne affiche le produit expectation-valence.

Solution	Expectation	Valence	E*V
A	1%	100€	1
B	10%	100€	10
C	20%	80€	16
D	30%	40€	12
E	40%	50€	20
F	50%	60€	30
G	60%	70€	42
H	70%	20€	14
I	80%	20€	16
J	90%	20€	18
K	99%	2€	2

Face à ces situations complexes, Avenier (1997) propose d'avancer par « tâtonnements ». Il s'agit en fait de trouver un équilibre entre stratégie émergente, improvisée et stratégie délibérée, afin de pouvoir s'adapter le plus rapidement possible aux changements de l'environnement. L'auteur propose d'avancer « chemin faisant », par essais et erreurs, en oubliant l'illusion des stratégies rationnelles. Il n'y a pas de solution idéale pour l'action en milieu complexe, on ne peut pas traiter toute l'information et souvent la décision se limite à opter pour la première solution acceptable qui se présente (Simon, 1990). On retrouve ici les idées de Perrenoud (1983) voyant la pédagogie louvoyer entre « improvisation réglée et bricolage », ou encore le concept d'*improvisation planifiée* utilisé par Tochon (1993) pour décrire le comportement de l'enseignant expert. Selon Le Moigne (1999), la complexité ne se maîtrise pas. Certaines options, face à la complexité, sont clairement vouées à l'échec. En situation complexe et incertaine, certains pourraient être ainsi enclins à « simplifier » le système : unifier les procédures, centraliser les décisions, normaliser les comportements. Ces méthodes peuvent être efficaces lorsque l'environnement est stable, mais certainement pas en situation complexe. Tochon (1993) montre ainsi que les enseignants débutants tentent de se réfugier dans des plans préétablis, des leçons-types qui s'ils les rassurent dans un premier temps ne leur permet en aucun cas de faire face à la complexité du face-à-face pédagogique. Ce sont des stratégies de ce type qui sont utilisées lors des premières confrontations à la complexité. On pourrait la résumer ainsi : le sujet essaie de résoudre la situation comme s'il s'agissait d'une simple tâche.

L'expert pour sa part fonctionne surtout au coup par coup, même s'il possède une mémoire des scénarios favorables et défavorables. Mais l'incertitude des situations complexes peut être telle qu'aucun scénario ne peut être d'une grande aide sur le long terme. Il est remarquable de voir comment cette stratégie tâtonnante est exploitée par les entraîneurs de sports collectifs. Lors des interventions rapides qu'ils peuvent faire auprès de leur équipe, soit durant les temps morts, soit du banc de touche, il est hors de question de se livrer à une analyse approfondie de la situation. L'essentiel est de tenter quelque chose qui ira dans la bonne

direction. Tout en sachant qu'il faudra sans doute modifier à nouveau les consignes quelques instants plus tard.

Ceci ruine l'espoir d'enseigner les compétences au travers de « principes de gestion ». La compétence ne se pilote pas rationnellement. Voici quelques années, j'avais exprimé de sévères réserves sur l'illusion de la possibilité d'un contrôle cognitif de haut niveau sur la motricité, et de son utilisation en Éducation Physique au travers de pratiques d'explicitation ou de verbalisation (Delignières, 1991). Il en va certainement de même pour la compétence. La compétence est avant tout agie, et certaines de ses propriétés resteront toujours dans une pénombre psychique, hors de la conscience du sujet. Ceci ne veut pas dire que rien n'est verbalisable dans la compétence, qui d'ailleurs intègre comme je l'ai dit précédemment des connaissances déclaratives. L'expert est souvent intarissable sur sa compétence. Ce qui ne veut pas dire que ce qu'il exprime correspond à la manière dont il s'y prend réellement.

### **Compétence, complexité et citoyenneté**

On ne s'étonnera pas des liens que nous avons tissés entre citoyenneté et gestion de la complexité (Delignières et Garsault, 2004). Rejoignant ainsi les propos de Clergue (1997), nous pensons en effet que la citoyenneté renvoie à la capacité de gérer des exigences contradictoires dans un système complexe, porteur d'enjeux et de valeurs partagées. La compétence, telle que nous l'avons définie, n'a pas d'autre définition. La compétence est par essence citoyenne, et son exercice est nécessairement une éducation à la citoyenneté. Au-delà de l'efficacité trop souvent retenue comme critère exclusif d'évaluation, la compétence est aussi affaire de jugement, d'équilibre, de politique, si l'on peut encore utiliser ce mot dans son sens le plus noble.

Souvent on se débarrasse des perspectives citoyennes en évoquant des objectifs ronflants, « responsabilité », « solidarité », « respect de l'autre », « respect de la règle ». Ces objectifs restent souvent des vœux pieux, surajoutés aux situations pédagogiques en tribut à l'air du temps institutionnel. En liant la citoyenneté à la gestion de la complexité, on peut entrevoir le problème différemment. On ne pourra jamais envisager une éducation à la citoyenneté en ne confrontant les élèves qu'à des situations simples. On aura beau imposer des règles, attribuer des rôles, afficher tous les objectifs du panthéon pédagogique, ce n'est qu'en mettant les élèves face à des situations complexes, où ils devront faire preuve de discernement, de jugement, de recherche de compromis, qu'une véritable citoyenneté sera exercée.

La mise en jeu de collectifs, dans des situations complexes, semble ici essentielle. Une troupe qui doit s'organiser pour produire un spectacle de danse ou d'acrobatie, une équipe qui doit participer à un tournoi de sports collectifs, une cordée qui réalise une ascension, toutes ces situations présentent la complexité requise, et contraignent les élèves à la prise en compte de l'autre, à la recherche de compromis. J'ai précédemment évoqué le problème de la cohésion des groupes, comme préalable à la construction d'une compétence collective. Je me permets de relancer cet argument en ce qui concerne les perspectives citoyennes. D'un point de vue strictement didactique, il me semble important que les élèves se sentent solidaires de leur groupe de travail, et cela se construit sur le long terme et dans la stabilité.

L'exercice et le développement de telles compétences requièrent une claire dévolution de responsabilités de l'enseignant vers l'élève. En termes de dynamique des systèmes, une telle dévolution peut être comprise comme l'introduction de nouveaux degrés de liberté, imposant de nouvelles contraintes mais autorisant la découverte de nouvelles solutions. Là encore, l'enseignant tend à perdre le confort d'un contrôle serré de l'activité des élèves. Il convient d'accepter ce qui peut être perçu comme une perte de pouvoir, voire une perte de temps.

## Chapitre 7

### Enseigner des compétences

#### Apprentissage et complexité

On a beaucoup parlé des compétences, comme concept permettant de formuler de manière différente les objectifs pédagogiques et les programmes disciplinaires, mais le problème de leur enseignement a été moins abordé. Il me semble clair qu'adopter cette entrée modifie complètement la manière de concevoir la discipline et donc de l'enseigner.

Le pire que l'on puisse imaginer, et c'est hélas ce que l'on retrouve fréquemment sur le terrain, c'est que l'on se contente de la parcellisation traditionnelle du savoir, en organisant l'enseignement sous forme de tâches juxtaposées, en supposant ainsi participer à la construction de compétences. Dans cette optique, l'installation de la compétence est toujours remise à plus tard. Ce sera l'année prochaine, lorsque l'on aura le temps. Pire, ce sera à l'élève de la construire, plus tard, de manière autonome, sur la base des briques que l'on aura installées en classe. Afficher des objectifs en termes de compétences, dans ce cas, ne sert guère qu'à faire plaisir à son institution, en se soumettant au jargon officiel.

Si la compétence est davantage que les ressources qui la constituent, il est évident que ce *plus* doit être enseigné en soi. On l'a vu précédemment, la compétence est avant tout la capacité à exploiter de manière judicieuse ses ressources, au moment opportun et en direction des objectifs pertinents. Donc au-delà du développement des ressources, il est nécessaire d'enseigner la capacité à lire la complexité, à discerner l'essentiel du superflu, à hiérarchiser les urgences, à trouver des compromis entre contraintes contradictoires.

Si la première possibilité évoquée consiste à assembler les éléments pour tenter de reconstituer la complexité du tout, une autre optique serait de partir du complexe, dès le début du processus d'enseignement. Perrenoud (1997) énonce ainsi que « les compétences se construisent en s'exerçant face à des situations d'emblée complexes ». Gérard (2007) développe un point de vue similaire : « quel que soit leur cadre de référence, tous ceux qui inscrivent leur réflexion, ou mieux leur pratique pédagogique, dans l'approche par compétences s'accordent aujourd'hui pour dire que celles-ci s'exercent lorsqu'il s'agit de résoudre des situations-problèmes nécessitant la mobilisation de plusieurs ressources. Que ce soit pour l'apprentissage des compétences ou pour leur évaluation, il convient donc de situer l'élève dans un environnement complexe et de l'amener à mobiliser ses différents acquis pour résoudre une situation complexe ». Dans cette optique, le développement d'une compétence s'effectue essentiellement en gérant des situations de plus en plus diversifiées et de plus en plus complexes, à l'aide de ressources de plus en plus spécialisées.

Cette idée, bien que fondamentalement contre-intuitive tant nous sommes imprégnés de réductionnisme, énonce surtout que le développement de la compétence ne peut se faire de façon segmentée ou séquentielle, mais nécessairement concentrique. La compétence n'est pas « assemblée » à partir de composantes élémentaires. La compétence est dès le départ complète, contenant les germes de l'ensemble de ses composantes essentielles. Comme nous l'avons déjà vu dans un chapitre précédent, un pilote compétent doit savoir décoller, naviguer et atterrir. S'il sait seulement décoller, il n'est pas au tiers compétent : il ne l'est pas du tout !

Au cours de son évolution vers l'expertise, les éléments constitutifs de la compétence acquièrent sophistication et pertinence. Surtout les relations au sein du système s'enrichissent et se densifient. Le développement de la compétence est avant tout une complexification. Cette idée est loin d'être triviale. Nombre de chercheurs travaillant sur l'apprentissage décrivent volontiers l'évolution de l'habileté comme une simplification progressive : les procédures les plus économiques sont sélectionnées, et le comportement est contrôlé par des variables macroscopiques, diminuant le nombre de degrés de liberté actifs du système (voir par exemple Hong et Newell, 2006). Il en va sans doute différemment pour les compétences. L'accroissement de la compétence est une invite à la recherche de la difficulté, des situations de plus en plus incertaines, de moins en moins bien définies.

Mais comment confronter à la complexité un élève absolument débutant dans l'activité visée ? Il ne faudrait à ce niveau tomber dans aucune forme de caricature. Si la compétence permet d'exploiter à bon escient les ressources, encore faut-il que ces dernières soient préalablement acquises (Gérard, 2007). Ce qui n'implique pas nécessairement de retomber dans le piège de l'associationnisme que nous venons de dénoncer. Il doit exister un tiers chemin entre ces deux extrêmes. Dans un chapitre précédent, j'ai évoqué le fait que face à un problème complexe, il était nécessaire d'effectuer des allers-retours entre l'élémentaire et le global, en prenant en compte les propriétés de chaque niveau et leurs influences respectives. L'acquisition des compétences peut suivre une logique similaire. L'apprentissage doit passer par un aller-retour systématique entre des situations simples qui vont permettre l'apprentissage localisé, dans des tâches épurées, de connaissances essentielles, et des situations plus complexes, moins bien définies, qui permettront de contextualiser ces connaissances et d'en apprendre l'usage opportun.

Loin donc de moi l'idée que l'enseignement devrait renoncer aux exercices, tâches d'apprentissage. Certains outils de base doivent être acquis, et de la manière la plus explicite possible. Si je dois apprendre à mes élèves à réaliser le nœud en huit dans le cadre d'un cycle escalade, ce ne sera certainement pas dans une situation complexe et mal définie. Ce sera un apprentissage parfaitement guidé, à base de démonstration, recherchant l'automatisation d'une séquence motrice. Tout simplement parce qu'il en va de la sécurité des élèves. Cependant, cet apprentissage devra ensuite être contextualisé, puis peut-être relativisé : à un certain niveau de compétence, le grimpeur pourra par exemple choisir entre nœud en huit, nœud de chaise, ou nœud de cabestan, en fonction de la situation du moment.

Selon Gérard et Braibant (2004), deux traits caractéristiques peuvent être utilisés pour analyser les situations pédagogiques. Le premier renvoie au fait que les situations soient ou non reliées à un « contexte de vie ». Résonnent-elles avec des préoccupations significatives pour l'élève, renvoient-elles à des pratiques sociales connues ? Les auteurs distinguent ainsi d'une part des activités de structuration, qui sont réalisées hors contexte, et les activités fonctionnelles, directement reliées à un contexte de vie. Par ailleurs, ils distinguent les activités qui vont mobiliser ponctuellement les ressources, ou de manière séparée, et celles qui vont mobiliser les ressources de manière essentiellement conjointe. Ces deux critères permettent de distinguer quatre catégories d'activités pédagogiques :

1. Les activités de structuration avec mobilisation ponctuelle : il s'agit dans ce cas de tâches visant l'acquisition de connaissances ou d'habiletés isolées. Par exemple en hand-ball une situation de tir en suspension avec aménagement matériel.
2. Les activités de structuration avec mobilisation conjointe : Gérard et Braibant (2004) évoquent à ce niveau pour les disciplines intellectuelles les synthèses ou résumés que l'enseignant peut demander à ses élèves. Il s'agit de mobiliser conjointement des connaissances, mais en dehors d'une situation réellement complexe. Pour continuer l'exemple du hand-ball, il pourra s'agir d'une situation où l'élève devra enchaîner une course avec dribble, un passe-et-va, puis un tir en suspension. On s'assure en environnement non incertain que l'élève sait mobiliser en continuité certaines connaissances déterminées.
3. Les activités fonctionnelles avec mobilisation ponctuelle : dans ce cas on propose une situation complexe, mais suffisamment maîtrisée pour travailler un aspect précis de la compétence. Par exemple, en hand-ball, une situation aménagée à trois attaquants et deux défenseurs, pour travailler la création d'espaces.
4. Les activités fonctionnelles avec mobilisation conjointe : dans ce cas il s'agit de viser l'intégration des connaissances dans un contexte de vie. Par exemple, la réalisation d'un match ou mieux la participation à un tournoi ou à un championnat.

Le problème n'est pas de privilégier telle ou telle catégorie, mais plutôt de voir comment ces diverses activités peuvent collaborer dans la construction des compétences. On le voit, certaines catégories renvoient à un travail pédagogique tout à fait traditionnel. C'est que les auteurs apprennent l'*apprentissage des ressources*, préalable indispensable à la construction des compétences. Ceci ne veut pas dire cependant que ces situations « classiques » restent inchangées dans une approche par les compétences. Gérard et Roegiers (2003) notent d'une part que cette entrée entraîne un recentrage sur l'essentiel, dans la mesure où les connaissances sélectionnées seront celles qui seront utiles pour la construction des compétences. Les autres connaissances seront considérées comme accessoires, et ne seront abordées que lorsque les compétences visées seront acquises par tous. Par ailleurs, dans le cadre d'une entrée par les compétences, ces apprentissages localisés prennent du sens. Nous avons précédemment évoqué ce point (Delignières et Garsault, 1998) : la compétence visée en fin de cycle balise l'apprentissage et lui donne du sens. Les ressources élémentaires ne sont pas acquises pour elles-mêmes, mais toujours dans la perspective de leur intégration dans des structures plus vastes.

L'apprentissage des ressources ne suffit évidemment pas, et il faut consacrer du temps à leur intégration. Plusieurs solutions sont envisageables. La première consiste à réserver du temps en fin de cycle pour un « module d'intégration ». L'enseignant consacre une grande partie du cycle à réaliser des apprentissages ponctuels, mais une partie significative (par exemple un tiers du cycle) est consacré à l'intégration systématique dans des activités complexes. C'est la voie la plus classique. Lorsque par exemple un cycle d'enseignement est finalisé par un projet (un spectacle, une compétition, un stage de pleine nature), ces événements terminaux constituent un lieu d'intégration des connaissances et de construction des compétences (Garsault, 2004). Encore faut-il que ces sessions d'intégration soient suffisamment longues pour ne pas constituer *in fine* la simple évaluation d'une compétence qui n'aura en fait jamais été enseignée.

Une deuxième approche consiste à ponctuer le cycle de séquences d'intégration. Cette approche avance par « paliers de compétence », des étapes intermédiaires où l'on va faire fonctionner de manière conjointe ce qui a été acquis jusque-là. Durant ces séquences d'intégration, on travaille des situations complexes apparentées à la compétence visée en fin de cycle. On peut noter que l'on retrouvait une structuration de ce type dans le cycle

entraînement/compétition des « Républiques des Sports ». Cette alternance peut être enrichie par la proposition d'une activité fonctionnelle au départ de l'apprentissage, au travers d'une situation complexe et significative qui jouera un rôle de déclencheur (Gérard et Braibant, 2004). Cette proposition rappelle les *situations de référence*, concept important en Éducation Physique depuis les années 90. Cette stratégie vise à accroître l'efficacité des apprentissages ponctuels en permettant aux élèves de leur donner du sens.

Enfin il convient de garder à l'esprit qu'une compétence est toujours relative. Contrairement à un objectif qui est formulé pour être atteint, une compétence ne sera jamais « atteinte » : elle se développe et se complexifie tout au long de la vie. Le niveau de son développement se caractérise par la diversité et la complexité des contextes dans lesquels elle peut se manifester, par la spécialisation des ressources qu'elle est capable d'utiliser et par les standards de plus en plus exigeants que respectent les performances (produits ou résultats) qu'elle permet de générer. Pour permettre ce développement continu, l'enseignement doit systématiquement s'appuyer sur les connaissances antérieures et les placer en relation avec les nouveaux apprentissages à effectuer ; il doit aussi mobiliser fréquemment les mêmes compétences, mais en s'assurant d'une progression dans la diversité des contextes ou la complexité des tâches.

### **Une éducation fractale**

Nous avons jusqu'à présent considéré la dynamique fractale des phénomènes, qui s'exprime au travers de fluctuations tout à fait particulières dans le temps. Dans cette approche le temps reste cependant extérieur, ne faisant que ponctuer l'observation. De Rosnay (1995) a proposé une approche particulièrement innovante du problème. Selon l'auteur, notre vision du temps est encore largement marquée par une conception linéaire et unidimensionnelle. Le temps reste extérieur à la dynamique des systèmes, comme si ces derniers se déployaient dans un espace vide, n'influençant pas leur évolution.

L'auteur estime qu'une interaction entre l'information créée par le système et le temps peut être discutée. La densité des informations pourrait créer à certains moments une « bulle temporelle » ayant des constantes d'évolution propres. Par analogie à la théorie de la relativité qui prédit que la masse d'une étoile puisse « courber » l'espace-temps, De Rosnay suggère qu'une masse critique d'information pourrait « densifier » le temps. L'idée générale serait que la vitesse (perçue) de l'écoulement du temps serait liée à celle de la production d'information.

Ce principe de non-linéarité du temps est en fait assez commun. Des réflexions similaires ont été avancées dans le domaine de l'Histoire (pour une présentation synthétique, voir During, 1984). L'histoire traditionnelle se contente de raconter les événements, d'en faire une chronologie précise. Dans cette optique, le temps est subi par le narrateur : un siècle dure toujours un siècle, et une année une année. Plus récemment les historiens ont privilégié une nouvelle approche de leur discipline, fondée sur une analyse plus particulière des crises qui ponctuent l'évolution de leurs objets d'étude. Dans ce cadre, le temps n'existe plus a priori et la chronologie, spécifique à l'objet étudié, est construite par le chercheur. Par ailleurs, la description du comportement des systèmes complexes fait fréquemment appel à des concepts qui marquent une brisure du temps. Le plus connu est la bifurcation, qui marque une brutale modification du fonctionnement du système (voir Chapitre 4). On peut interpréter ce type de phénomène comme une accélération ponctuelle du temps.

De Rosnay propose de considérer l'information créée comme du temps potentiel, une « réserve de temps » disponible. Et cette création de temps potentiel permet de compenser en quelque sorte l'écoulement du temps traditionnel. A l'heure actuelle, les nouvelles technologies de l'information, et notamment l'Internet, ont largement accru la vitesse à laquelle les hommes

produisent de l'information originale. Cette information accroît la complexité, et génère du temps potentiel.

La création de temps potentiel peut permettre une nouvelle lecture des compétences, telles que nous les avons précédemment définies et analysées. La compétence est un système complexe, au sein duquel de multiples composantes produisent et diffusent de l'information en parallèle. Chacune de ses composantes forme une bulle temporelle, possédant sa dynamique propre en fonction de la densité d'information qu'elle renferme. Toutes ces bulles, hiérarchiquement organisées en fonction de leur densité temporelle, évoluent simultanément au sein du système. La coexistence de bulles possédant des dynamiques si disparates confère à la compétence ses propriétés fractales.

On conçoit que la construction de telles compétences ne saurait s'inscrire dans la linéarité de la leçon ou même du cycle d'enseignement. Selon de Rosnay (1998), « cette forme d'éducation ne tient pas compte des densités différentes du temps, des respirations, des périodes de calme ou de plus grande intensité. Apprendre à apprendre, c'est non seulement préparer un terrain fertile pour que germent et fleurissent les connaissances, c'est surtout gérer et hiérarchiser ce que l'on sait déjà pour donner du sens à ses actes ». Par analogie avec les images fractales, dont nous avons amplement parlé et qui se construisent progressivement, par itérations successives à partir d'une équation simple, Joël de Rosnay propose une *éducation fractale*, qui viserait à aider l'élève à tisser des liens entre les différents niveaux hiérarchiques de ses connaissances. En d'autres termes, il s'agirait de lui permettre de *complexifier* ses connaissances et compétences. Cette éducation doit surtout donner à l'élève les moyens de mener cette complexification de manière autonome. Et dans ce processus l'École n'est plus la seule pourvoyeuse de connaissance. Il s'agit de permettre à l'élève de bénéficier des multiples expériences, informations, rencontrées tant dans le cadre scolaire qu'en dehors de l'école. L'éducation fractale repose sur l'intégration, la mise en relation de connaissances diverses, l'enrichissement perpétuel des réseaux ainsi constitués. Dans ce cadre, la classe, le temps scolaire deviennent un simple relais, « *un nœud d'un réseau plus vaste impliquant d'autres formes complémentaires de transmission de culture* » (de Rosnay, 1998). La compétence, dont l'école peut ébaucher la construction, constitue une structure d'accueil pour toutes ces expériences, qui vont en retour l'enrichir.

L'éducation fractale prônée par De Rosnay vise à mettre en symbiose divers systèmes et réseaux. Ces lieux de savoirs seront extrêmement différents, les uns jouant sur l'immédiateté (la télévision par exemple), et d'autres sur une temporalité plus longue (l'École), les uns visant des connaissances abstraites, les autres s'enracinant dans le quotidien. Il s'agit de permettre à l'élève de donner du sens à cette avalanche d'information. On voit bien que les recettes traditionnelles, avec un programme académique immuable, déconnecté des réalités, émiétté dans des leçons cloisonnées, ne peuvent plus convenir. Comme l'énonce l'auteur, « *l'École est frappée de plein fouet par le changement de paradigme entre analytique et systémique* » (de Rosnay, 1998). Les propositions de l'auteur suggèrent que l'École soit le catalyseur de la construction des compétences, mais certainement pas l'opérateur exclusif.

En ce qui concerne la discipline qui nous préoccupe, il est clair que l'Éducation Physique ne se limite pas au cadre restreint du cours d'EPS : elle se prolonge dans des interactions avec les pairs, la famille, les activités de loisir, les clubs sportifs, la télévision, le spectacle sportif. Toutes ces expériences interfèrent, s'interpénètrent, s'enrichissent mutuellement. On peut considérer qu'elles contribuent toutes à l'éducation physique et sportive des individus, conçue comme un processus se prolongeant tout au long de la vie<sup>17</sup>. Le cours

---

<sup>17</sup> Je tiens à remercier à ce niveau Maurice Portes et nos collègues de la section montpelliéraine de l'Amicale des Enseignants d'Éducation Physique et Sportive, pour les débats fructueux que nous avons eu à ce sujet.

d'EPS est un des moments de cette éducation physique, qui possède ses particularités, ses contraintes et ses avantages propres. Mais cette discipline scolaire ne concentre pas toute l'éducation physique et sportive des individus. Les clubs sportifs, que l'on décrit volontiers centrés sur la performance et la pratique de haut-niveau, proposent en fait souvent des projets pédagogiques qui n'ont pas grand-chose à envier à ceux des professeurs d'EPS. Il y est aussi question d'éducation motrice, d'accession aux valeurs citoyennes, parfois de formation des compétences. Les Écoles Municipales des Sports, et autres structures similaires gérées par les collectivités territoriales, occupent également le terrain éducatif, et interviennent en masse à l'École Primaire. Ajoutons à cela les multiples associations, Foyers Ruraux, mouvements de jeunesse, qui multiplient çà et là l'offre éducative. On comprend pourquoi nous ne croyons pas à une Éducation Physique cloîtrée dans l'École, dispensant un enseignement original, spécifique, qu'il conviendrait de ne pas confondre avec les autres expériences, sportives notamment, que l'élève peut vivre par ailleurs. C'est pourquoi nous avons milité pour une Éducation Physique assumant pleinement ses prolongements extra-scolaires, autour du concept d'*éducation sportive* (Delignières et Garsault, 2004).

Je comprends que cette position puisse être inconfortable. L'Éducation Physique subit actuellement des attaques frontales de la part de la sphère politique. Les milieux sportifs ne sont pas tendres, et lui imposent une véritable concurrence, au niveau éducatif. Je pense cependant que le repliement frileux sur une spécificité scolaire de l'Éducation Physique n'est pas la solution. L'évolution de la société, le développement des systèmes d'information, interdisent à l'École de se penser comme une citadelle inexpugnable, refermée sur elle-même. Elle doit apprendre à collaborer, mais aussi à exploiter à son profit les vecteurs extérieurs de formation, d'information et d'éducation. L'Éducation Physique et Sportive ne fait pas exception. Plutôt que de penser l'enseignement scolaire de l'Éducation Physique en négatif, s'opposant aux pratiques extrascolaires, définissant ainsi davantage ce qu'elle n'est pas que ce qu'elle est, il serait sans doute plus pertinent de la situer en complémentarité avec les autres lieux de pratique et d'éducation physique, qui apportent chacun une contribution spécifique.

## **L'évaluation des compétences**

Pour finir, il est important de poser le problème de l'évaluation. Un point de vue assez radical est avancé par Gérard (2007) : « Que ce soit pour l'apprentissage des compétences ou pour leur évaluation, il convient donc de situer l'élève dans un environnement complexe et de l'amener à mobiliser ses différents acquis pour résoudre une situation complexe ». C'est en mettant l'élève face à la complexité que l'on vérifiera s'il est capable de la gérer. Ceci a une conséquence immédiate : il est inutile d'espérer trouver une tâche simple dont la maîtrise pourrait rendre compte de l'accession à une compétence. Le recours à des situations complexes est une modalité indispensable (Gérard, 2007).

Encore une fois, il convient ici de s'entendre sur ce que l'on appellera situation complexe. Roegiers (2003) propose une intéressante distinction entre situation compliquée et situation complexe. Une situation sera compliquée si l'élève doit mobiliser des savoirs et savoir-faire nouveaux, ou encore peu maîtrisés. La situation sera complexe si l'élève doit articuler de manière éventuellement inédite des savoirs et savoir-faire qu'il possède déjà. C'est l'articulation, la mise en relation, la mise en perspective des ressources qu'il faut évaluer, et non l'acquisition de telle ou telle connaissance ou habileté. En d'autres termes, lorsqu'un enseignant souhaite évaluer des compétences à partir d'une situation complexe, il doit s'être assuré au préalable que toutes les ressources à mobiliser pour résoudre la situation ont été acquises (Gérard, 2007). Ce qui supposerait une évaluation séparée des « connaissances » élémentaires.

Évaluer une compétence au travers d'une situation complexe suppose que l'on soit capable de construire une situation pertinente et valide, c'est-à-dire mobilisant de manière obligatoire la compétence visée, et cependant inédite pour l'élève. Ce problème a suscité de vifs débats parmi les spécialistes de l'Éducation (Crahay, 2006 ; Gérard, 2007 ; Rey, Carette, Defrance, et Kahn, 2003). Cette procédure d'évaluation suppose que l'on puisse associer une compétence à une « famille de situation », définie comme un ensemble de situations d'un niveau de complexité équivalent et se rapportant toutes à une même compétence.

En toute logique, une telle famille devrait être caractérisée par l'existence d'une matrice, d'un algorithme commun à toutes ces situations, qui ferait que l'ensemble des situations de la famille ne serait que les déclinaisons multiples d'un modèle commun. Or justement si la complexité est définie comme nous l'avons évoqué précédemment comme l'irréductibilité à un modèle fini, on peut difficilement préciser les contours de cette matrice commune. Autant il est envisageable de construire une famille d'exercices ou de tâches renvoyant à l'application d'une connaissance clairement délimitée (par exemple les applications du théorème de Pythagore), autant il peut être difficile de cerner de manière précise des familles de situations complexes.

Une situation d'évaluation n'est pas une situation d'apprentissage. Les ressources élémentaires doivent être acquises antérieurement, et par ailleurs, ce n'est pas non plus au moment de l'évaluation que l'élève apprend à être compétent. L'évaluation ne doit pas être sa première confrontation à la complexité. La mobilisation et l'intégration des ressources pour résoudre une situation complexe doivent faire l'objet d'un apprentissage spécifique, au même titre que celui des ressources. Donc la situation d'évaluation va rappeler d'autres situations similaires, de complexité équivalente, travaillées en cours. Par ailleurs cette situation n'a pas à être plus difficile que les situations d'apprentissage. Bien au contraire, on devrait logiquement pouvoir aller plus loin en situation d'apprentissage qu'en situation d'évaluation.

L'évaluation doit aussi être appréhendée en termes de jugement. On aura compris qu'il est difficile d'attendre, dans le cadre d'une situation complexe, une réponse standardisée. Inutile de se demander si la réponse est bonne ou mauvaise, dans la mesure où généralement il n'existe pas une et une seule bonne réponse, clairement identifiable. Gérard et Braibant (2004) estiment que l'évaluation des compétences doit nécessairement être multifactorielle et critériée. Multifactorielle parce que la production de l'élève est complexe, et offre au regard de multiples perspectives, et critériée parce que cette évaluation est nécessairement qualitative.

Les critères à retenir dépendent évidemment de la nature de la compétence (et donc de celle de la discipline). Gérard et Braibant (2004) évoquent cependant les critères génériques suivants (1) La pertinence, c'est-à-dire l'adéquation de la production à la situation proposée. L'élève remplit-il le rôle qui lui a été assigné ? Par exemple dans le cadre d'une production en danse sur un thème déterminé, on se demandera si l'élève a réellement suivi les consignes, et si sa production renvoie bien à l'argument spécifié. (2) L'utilisation correcte des savoir-faire : même si la production manque de pertinence, est-elle pour autant bien ou mal réalisée ? On évaluera à ce niveau la qualité technique des mouvements. (3) La cohérence de la démarche, même si elle n'est pas pertinente. Si la production ne correspond pas à l'argument spécifié, peut-on cependant reconstituer le thème traité par l'élève ? (4) La complétude, c'est-à-dire le caractère complet de la production. On peut concevoir l'évaluation de ce critère au travers de la qualité de l'association entre mouvement, musique, et vêtement.

On remarquera que je n'ai pas ici parlé de notation. Non que j'estime cette pratique inutile : c'est à mes yeux un moyen utile de résumer des résultats et de les communiquer. Mais la notation ne renvoie qu'à un problème purement technique lié à distribution espérée des notes dans le groupe-classe. Déterminer les critères sur lesquels l'évaluation doit porter est autrement plus important.

Enfin une évaluation pertinente des compétences ne peut se baser sur une seule session. Par ce que la situation est complexe et la compétence imprévisible, l'échec est toujours possible. L'élève doit bénéficier de plusieurs chances de démontrer sa compétence. On peut voir dans ce principe une idée généreuse qui se heurtera bien vite aux réalités concrètes de la situation d'enseignement. Mais on pose ainsi bien le problème : s'agit-il d'enseigner le moins mal possible dans l'École telle que nous la connaissons, ou de tenter de réformer l'École pour y enseigner d'une manière optimale ?

J'ajouterai pour finir qu'il est nécessaire que l'évaluation soit la plus transparente possible aux yeux de l'élève. Enseigner des compétences, c'est faire en sorte que l'élève s'engage dans une activité porteuse de sens et d'enjeu. La situation d'évaluation n'est pas un simple exercice que l'on réussit ou que l'on rate, sans autre conséquence que la note, noyée dans une moyenne générale. Évaluer ses compétences, c'est mettre sous le regard des autres son travail, son engagement, une part de soi-même. Le retentissement de cette évaluation sur l'image que l'élève a de lui-même, sur son estime de soi, sera d'autant plus conséquent que l'enseignant aura su construire un rapport d'authenticité à la pratique.

\*\*\*

Ce chapitre n'a fait qu'ébaucher les grandes lignes de ce qui pourrait constituer une *pédagogie des compétences*. Il reste maintenant à chacun de tenter de faire fonctionner ce type d'approche dans son lieu propre d'exercice. On aurait pu s'attendre évidemment à ce que j'aie plus loin dans l'intimité de la démarche : détailler les progressions, les exercices, les situations, comme on a l'habitude de le voir dans les articles professionnels. Mais justement parce qu'une telle pédagogie est complexe et dynamique, en proposer une photographie instantanée ou en détailler un aspect isolé n'aurait guère de sens. De même qu'un objet fractal peut se déployer à l'infini à partir de l'itération de quelques principes de base, d'une manière toujours renouvelée, c'est dans la pédagogie des compétences davantage les principes de base qui sont importants que les détails de la mise en œuvre. Je sais que l'on me reprochera d'être resté trop général et théorique. Mais c'est sur le terrain, dans l'urgence du faire, que se construisent et s'affinent les pratiques. Cristalliser et donner ici en exemple des manières de faire serait à l'opposé des idées que j'ai tenté de défendre sur la nature de la complexité.

## Conclusion

Cet essai avait pour ambition de proposer une analyse fouillée du concept de compétence, afin d'affiner sa définition. J'ai tenté de montrer que les théories de la complexité permettaient de le doter d'un sens original, le démarquant nettement des concepts antérieurement exploités dans le domaine de l'enseignement. Les enjeux de ce travail se situent bien au-delà cependant d'un simple exercice conceptuel. En amont, ce concept relève d'une épistémologie tout à fait spécifique, dont il ne faut pas l'isoler. En aval, il suggère de profonds bouleversements dans la manière de concevoir l'enseignement, dont il est nécessaire de prendre la mesure.

### Participer au renouvellement paradigmatique

Tout d'abord, il me semble utile de resituer ces réflexions dans l'évolution paradigmatique de la pensée scientifique. Au sortir de la seconde guerre mondiale, la théorie de l'information a bouleversé la manière dont les scientifiques concevaient leurs objets de recherche. On connaît bien sûr son influence sur la psychologie, avec l'apparition du cognitivisme. Mais son influence au travers de la cybernétique a touché nombre d'autres disciplines, tant en sciences de la vie qu'en sciences sociales. La théorie de l'information a été également à l'origine de la révolution informatique, qui a profondément modifié nos modes de vie. L'éducation n'est pas restée en dehors de cette vague, et notamment l'Éducation Physique, grâce à des auteurs tels que Le Boulch (1966, 1978), Parlebas (1976, 1981) et bien sûr Famose (1983, 1985, 1990) qui non seulement a importé le cadre théorique de la psychologie expérimentale cognitive mais a réussi à en dériver une remarquable technologie de l'enseignement, au travers de la méthodologie de l'analyse des tâches.

Depuis un autre paradigme est apparu. Il s'agissait au départ de théories extrêmement formelles, basées sur le comportement d'objets mathématiques surprenants. Mais petit à petit au cours de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle des chercheurs de disciplines diverses ont trouvé dans ces théories nouvelles une manière inédite d'interroger leurs objets d'étude. Nous avons décrit dans cet ouvrage les grandes lignes de ce paradigme de la complexité, qui maintenant touche toutes les disciplines scientifiques, et tend à marquer l'univers technologique d'une empreinte aussi profonde que l'avait fait la théorie de l'information. L'Éducation Physique ne peut rester sourde à cette évolution de la pensée. On a pu croire, au sein de cette discipline, que la « révolution » viendrait de l'approche dynamique des coordinations motrices, qui a peu à peu supplanté dans la production scientifique les théories cognitivistes dans le domaine du contrôle moteur. Mais cette théorie ne se prête pas comme la précédente à l'application pédagogique. C'est au travers des théories de la complexité, et notamment du concept de compétence, que le nouveau paradigme imprègne l'éducation. J'espère que cet ouvrage aura contribué à faire participer l'Éducation Physique à cette évolution.

Le pire, comme je l'indiquais dès l'introduction de cet ouvrage, serait d'incorporer le concept de « compétence » en ignorant ses origines paradigmatiques, et ainsi de passer à côté du renouvellement de la pensée dont il est solidaire. C'est exactement ce qu'ont fait les programmes de collège de 1996, et ceux qui viennent de paraître ne sont guère plus rassurants.

On pourrait ici me reprocher de simplement céder à un effet de mode. D'abandonner des schémas traditionnels, qui ont fait leurs preuves, pour sacrifier à l'air du temps, parce que cela fait moderne. On a pu croire aussi par le passé que penser que la terre était ronde et non plate, que la terre tournait autour du soleil et non l'inverse, c'était s'aventurer dans des schémas de pensée bien avant-gardistes. Néanmoins ce sont ceux qui se sont aventurés dans ces paradigmes novateurs qui ont fait avancer le monde, aux niveaux scientifique et technologique, mais aussi au niveau philosophique. Adopter le paradigme de la complexité, c'est en effet transformer complètement sa manière de concevoir le monde. Et le concept de compétence est central dans cette révolution.

### **Éviter le compliqué, exploiter le complexe**

On a pu avoir l'impression, au travers de la lecture, que cette présentation était bien compliquée, pour une discipline d'enseignement si « simple ». Je ne pense pas que ce livre soit si compliqué. On se sera rendu compte par contre qu'il présente une certaine redondance. De chapitre en chapitre les mêmes arguments sont activés, venant de perspectives différentes. Mais on pourrait résumer tout cela au travers de quelques propositions ramassées. En fait au même titre que son objet ce livre est complexe. Il cultive les interactions, les retours en arrière, les regards croisés.

Si quelque chose est compliqué, c'est-à-dire composé de multiples éléments juxtaposés, c'est plutôt l'Éducation Physique actuelle. Lorsque je vois mes étudiants, sur la foi de ces fameux programmes de 1996, justifier l'apprentissage de la roulade avant au travers de cinq « compétences spécifiques », trois « compétence propres au groupement », et deux « compétences générales », et apprendre tout cela par cœur pour le réciter à leur jury, je trouve en effet que l'Éducation Physique actuelle fait dans le compliqué. Et lorsque j'affirme à l'inverse qu'il faudrait qu'un cycle complet d'enseignement ne soit finalisé que par une seule compétence, il me semble que cela rend les choses plus faciles. Mais plus complexes, en effet. Je me suis largement expliqué sur ce point. Fuir la complication, cela me paraît en effet essentiel. Mais certainement pas éviter la complexité. Il faut au contraire l'exploiter au maximum, car elle est porteuse d'éducation et d'adaptation au monde. Mais il faut faire le deuil de l'illusion de pouvoir la maîtriser un jour. Entrer dans la pédagogie des compétences, c'est nécessairement se mettre en danger.

### **Une théorisation ouverte**

Je ne reviendrai pas ici en détail sur ma conception de l'Éducation Physique. Je me suis largement exprimé à ce sujet par ailleurs, et ce n'est pas l'objet de cet ouvrage. Mais il est clair que le concept de compétence est une pierre angulaire de cette conception. Cependant la pédagogie des compétences peut se décliner de diverses manières, et mon point de vue personnel est loin d'épuiser le sujet. C'est donc une théorisation ouverte que livre ce texte, qu'il appartiendra à chacun de faire évoluer dans la complexité de sa pratique.

On pourrait par exemple envisager de développer chez les élèves des compétences interdisciplinaires. Ce serait une opportunité pour décloisonner l'organisation de l'enseignement, et certains y voient une évolution salutaire de l'École. Il est clair qu'il s'agirait alors de compétences typiquement scolaires, ayant peu d'équivalents au niveau des pratiques sociales. Je dois dire que je n'ai jamais rien vu de réellement convaincant sur ce registre.

L'idée mérite cependant d'être posée. Organiser l'enseignement autour des compétences invite à une redéfinition des objectifs de l'École, au-delà des traditions, des habitudes et des lobbies disciplinaires. Néanmoins, parce que l'Éducation Physique a la chance de tirer sa légitimité de pratiques sociales reconnues et diffusées, elle a à sa disposition un catalogue de compétences dans lequel elle n'a qu'à choisir de la manière la plus judicieuse. L'Éducation Physique a tout intérêt à cultiver cette spécificité, et à finaliser son enseignement par des compétences relevant des pratiques sportives et artistiques.

En restant dans l'optique de ces compétences disciplinaires, on peut juger nécessaire de permettre aux élèves de développer un large éventail de compétences, représentant la diversité des pratiques sportives et artistiques. C'est le plus souvent l'option retenue par les textes officiels, soucieux de respecter le principe d'une Éducation Physique « complète et équilibrée », et aussi de mettre en avant la polyvalence des enseignants. Je pense au contraire cet émiettement nuisible. Il me semble plus favorable de permettre à l'élève, au fur et à mesure de son avancée dans le système scolaire, de se spécialiser dans un nombre restreint de compétences, mais d'y atteindre un niveau d'expertise significatif. Le plus important, de mon point de vue, est moins dans le contenu des compétences acquises, que dans la démarche de construction de ces compétences et dans le plaisir issu de leur maîtrise.

## Bibliographie

- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- Araújo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7, 653-676.
- Ashby, W.R. (1956). *An Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall.
- Atlan, H. (1986). *Entre le cristal et la fumée*. Paris : Seuil.
- Avenier M.J. (1997). *La stratégie "chemin faisant"*. Paris : Economica.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bachelard, G. (1949). *La psychanalyse du feu*. Paris : Gallimard.
- Bardy, B.G., Marin, L., Stoffregen, T.A. & Bootsma, R.J. (1999). Postural coordination modes considered as emergent phenomena. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, 25, 1284-1301.
- Beek, P.J., & Beek, W.J. (1988). Tools for constructing dynamical models of rhythmic movement. *Human Movement Science*, 7, 301-342.
- Beek, P.J., Peper, C.E. & Stegeman, D.F. (1995). Dynamical models of movement coordination. *Human Movement Science*, 14, 573-608.
- Bélair, J., Glass, L., An Der Heiden, U., & Milton, J. (1995). Dynamical disease: Identification, temporal aspects and treatment strategies of human illness. *Chaos*, 5, 1-7.
- Beltz, B. B. & Kello, C. T. (2006). On the intrinsic fluctuations of human behavior. In M. Vanchevsky (Ed), *Focus on Cognitive Psychology Research* (pp. 25-41). Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Bordes, P. (2002). Les regroupements d'élèves en classe d'éducation physique. *Revue EPS*, 298, 39-42.
- Bordes, P., Collard, E., & Dugas, E. (2007). *Vers une science des activités physiques et sportives*. Paris : Vuibert.
- Canguilhem, G. (1977). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*. Paris: Vrin
- Caron, A.V. (1982). Cohesiveness in sport groups : Interpretations and considerations. *Journal of Sport Psychology*, 4, 123-138.

- Coopersmith, S. (1984). *Manuel de l'inventaire d'estime de soi*. Paris: Editions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Corral, A. (2004). Long-Term Clustering, Scaling, and Universality in the Temporal Occurrence of Earthquakes. *Physical Review Letters*, 92, 108501.
- Coston, A. (2002). Etre compétent. Un exemple en saut de cheval. *Revue EPS*, 297, 63-67.
- Crahay, M. (2006). Dangers, incertitudes et incomplétude de la logique de la compétence en éducation, *Revue Française de Pédagogie*, 154, 97-110.
- Cullman, G. (1989). La recherche opérationnelle. *Encyclopédia Universalis, Corpus 13*, 541-544.
- De Montmollin, M. (1984). *L'intelligence de la tâche. Eléments d'ergonomie cognitive*. Berne: Peter Lang.
- de Rosnay, J. (1995). *L'homme symbiotique*. Paris : Seuil.
- de Rosnay, J. (1998). Pour une diététique de l'information. *Les Cahiers Pédagogiques*, 362, 8-9.
- Delignières, D. & Garsault, C. (1993). Objectifs et contenus de l'EPS: Transversalité, utilité sociale et compétence. *Revue E.P.S.*, 242, 9-13.
- Delignières, D. & Garsault, C. (1996). Apprentissages et utilité sociale: que pourrait-on apprendre en EPS? In B.X. René (Ed.), *A quoi sert l'Education Physique et Sportive?* (pp. 155-162). Paris: Edition Revue EPS.
- Delignières, D. & Garsault, C. (1999). Connaissances et compétences en EPS. *Revue EPS*, 280, 43-47.
- Delignières, D. & Garsault, C. (2004). *Libres propos sur l'Education Physique*. Paris : Editions Revue EPS
- Delignières, D. (1991). Apprentissage moteur et verbalisation. *Echanges et Controverses*, 4, 29-42.
- Delignières, D. (1991). Apprentissage moteur et verbalisation. *Echanges et Controverses*, 4, 29-42.
- Delignières, D. (1993). La perception de l'effort et de la difficulté. In J.P. Famose (Ed.), *Cognition et performance* (pp. 183-218). Paris: INSEP.
- Delignières, D. (2004). Et si l'on enseignait comme nos élèves apprennent ? In G. Carlier (Ed.), *Si l'on parlait du plaisir d'enseigner l'éducation physique ?* (pp. 31-40). Montpellier : AFRAPS.
- Delignières, D. (2007). La dynamique fractale de l'estime de soi: une validation statistique. *Science et Motricité*, 60, 69-73.
- Delignières, D. (2008). *Psychologie du Sport*. Paris : P.U.F.
- Delignières, D., Fortes, M., & Ninot, G. (2004). The fractal dynamics of self-esteem and physical self. *Nonlinear Dynamics in Psychology and Life Science*, 8, 479-510.
- Delignières, D., Lemoine, L. & Torre, K. (2004) Time intervals production in tapping and oscillatory motion. *Human Movement Science*, 23, 87-103.
- Delignières, D., Nourrit, D. Deschamps, T., Lauriot, B. & Caillou, N. (1999). Effects of practise and tasks constraints on stiffness and friction functions in biological movements. *Human Movement Science*, 18, 769-793.

- Delignières, D., Nourrit, D., Deschamps, T., Lauriot, B. & Caillou, N. (1999). Effects of practise and tasks constraints on stiffness and friction functions in biological movements. *Human Movement Science*, 18, 769-793.
- Delignières, D., Nourrit, D., Sioud, R., Leroyer, P., Zattara, M. & Micaleff, J.P. (1998). Preferred coordination modes in the first steps of the learning of a complex gymnastics skill. *Human Movement Science*, 17, 221-241.
- Delignières, D., Ramdani, S., Lemoine, L., Torre, K., Fortes, M. & Ninot, G. (2006). Fractal analysis for short time series : A reassessment of classical methods. *Journal of Mathematical Psychology*, 50, 525-544.
- Delignières, D., Torre, K., & Lemoine, L. (2008). Fractal models for event-based and dynamical timers. *Acta Psychologica*, 127, 382-397.
- Delorme, R. (1998). *From first order to second order complexity in economic theorizing*. Paris: CEPREMAP, Mimeo.
- Deriaz, D., Poussin, B., & Gréhaigne, J.F. (1998). Le débat d'idées. *Revue EPS*, 273, 80-82.
- Deschamps T., Lauriot B., Nourrit D., Caillou N. et Delignières D. (2000). Effet de la force de l'intention sur la variabilité des patterns spontanés d'une tâche de coordination bimanuelle. *Science et Motricité*, 41, 28-32.
- Deschamps, T., Nourrit, D., Caillou, N., & Delignières, D. (2004). Influence of a stressing constraint on stiffness and damping functions of ski simulator's platform motion. *Journal of Sport Sciences*, 2, 867-874.
- Diedrich, F.J. & Warren, W.H. (1995). Why change gait? Dynamics of the walk-run transition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 183-202.
- Dugas, E. & During, B. (2007). Une forme d'intelligence à l'école: l'intelligence motrice. *HYPHER*, 240, 26-32.
- Durand, M. (2001). *Chronomètre et survêtement*. Paris : Edition Revue EPS.
- Durand, M., Arzel, G. (2002). Commande et autonomie dans la conception des apprentissages scolaires, de l'enseignement et de la formation des enseignants. In M. Carbonneau & M. Tardif (Eds.), *Les réformes en éducation, leurs impacts sur l'école* (pp. 61-77). Sherbrooke : Editions du CRP.
- During, B. (1984). *Des jeux aux sports*. Paris : Vigot.
- Eke, A., Herman, P., Bassingthwaighite, J.B., Raymond, G.M., Percival, D.B., Cannon, M., Balla, I., & Ikrényi, C. (2000). Physiological time series: distinguishing fractal noises from motions. *Pflügers Archives*, 439, 403-415.
- Famose, J.P. (1983). Stratégies pédagogiques, tâches motrices et traitement de l'information. In J.P. Famose, J. Bertsch, E. Champion & M. Durand, *Tâches motrices et stratégies pédagogiques en Education Physique et Sportive* (pp. 9-21). Paris: EPS.
- Famose, J.P. (1985). L'habileté motrice: théorie et enseignement. *STAPS*, 12, 31-48.
- Famose, J.P. (1990). *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.

- Flavier, E., Bertone, S., Hauw, D. & Durand, M. (2002). The meaning and organization of physical education teachers' actions during conflict with students. *Journal of Teaching in Physical Education*, 22, 20-38.
- Fortes, M., Delignières, D., & Ninot, G. (2004). The dynamics of self-esteem and physical self: Between preservation and adaptation. *Quality and Quantity*, 38, 735-751.
- Galichet, F (1998). *L'éducation à la citoyenneté*. Paris : Anthropos.
- Gal-Petitfaux, N. & Durand, M. (2001). L'enseignement de l'éducation physique comme « action située » : propositions pour une approche d'anthropologie cognitive. *STAPS*, 55, 79-100.
- Garsault, C. (2004, Ed.). Donner du sens aux apprentissages : Mettre la classe en projet, finaliser les cycles. In C. Garsault (Ed.), *L'EPS en Zone d'Éducation Prioritaire* (pp. 31-79). Document académique n°9, Académie de Montpellier.
- Gérard, F.-M. & Braibant, J.-M. (2004). Activités de structuration et activités fonctionnelles, même combat ? Le cas de l'apprentissage de la compétence en lecture à l'école primaire. *Français 2000, 190-191*, 24-38.
- Gérard, F.-M. & Roegiers, X. (2003). *Des manuels scolaires pour apprendre — Concevoir, évaluer, utiliser*. Bruxelles : De Boeck.
- Gérard, F.-M. (2007). La complexité d'une évaluation des compétences à travers des situations complexes : nécessités théoriques et exigences du terrain. *Actes du Colloque international « Logique de compétences et développement curriculaire : débats, perspectives et alternative pour les systèmes éducatifs »*. Montréal, 26 et 27 avril 2007.
- Gilden, D.L. (2001). Cognitive emissions of 1/f noise. *Psychological Review*, 108, 33-56.
- Gilden, D.L., Thornton, T. & Mallon, M.W. (1995). 1/f noise in human cognition. *Science*, 267, 1837-1839.
- Gleick, J. (1991). *La théorie du chaos. Vers une nouvelle science*. Paris : Flammarion.
- Goldberger, A.L., Amaral, L.A.N., Hausdorff, J.M., Ivanov, P. Ch., Peng, C.-K. & Stanley, H.E. (2002). Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging. *PNAS*, 99, 2466-2472.
- Gould, S.J. (1983). *La mal-mesure de l'Homme*. Paris : Ramsay.
- Gréhaigne, J.F., Billard, M., Guillon, R. et Roche, J. (1989). Vers une autre conception de l'enseignement des sports collectifs. In G. Bui-Xuan (Ed.), *Méthodologie et Didactique de l'EPS* (pp.201-216). Clermond-Ferrand: Editions AFRAPS (revue STAPS).
- Gribbin, J. (2006). *Simplicité profonde : le chaos, la complexité et l'émergence de la vie*. Paris : Flammarion.
- Guédon, J.C. (1984). L'idéologie comme mode d'appropriation de la science In C. Savary & C. Panaccio (Eds.), *L'idéologie et les stratégies de la raison. Approches théoriques, épistémologiques et anthropologiques* (pp. 149-167). Montréal : Éditions Hurtubise.
- Haken, H., Kelso, J.A.S. & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transition in human hand movement. *Biological Cybernetics*, 51, 347-356.
- Hausdorff, J.M., Mitchell, S.L., Firtion, R., Peng, C.K., Cudkowicz, M.E., Wei, J.Y. & Goldberger, A.L. (1997). Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. *Journal of Applied Physiology*, 82, 262-269.

- Hausdorff, J.M., Peng, C.K., Ladin, Z., Wei, J.Y. & Goldberger, A.R. (1995). Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. *Journal of Applied Physiology*, 78, 349-358.
- Hauw, D. & Durand, M (2007). Situated analysis of elite trampolinists' problems in competition using retrospective interviews. *Journal of Sport Sciences*, 25, 173-183.
- Holt, K.G., Jeng, S.F., Ratcliffe, R. & Hamill, J. (1995). Energetic cost and stability during human walking at the preferred stride frequency. *Journal of Motor Behavior*, 27, 164-178.
- Hong, S.L., & Newell, K..M (2006). Change in the organization of degrees of freedom with learning. *Journal of Motor Behavior*, 38, 88-100.
- Hosking, J.R.M. (1984). Modelling persistence in hydrological time series using fractional differencing. *Water Resources Research*, 20, 1898–1908.
- Jordan, K., Challis, J.H., & Newell, K.M. (2006). Long range correlations in the stride interval of running. *Gait & Posture*, 24, 120–125.
- Kello, C. T., Beltz, B. C., Holden, J. G., & Van Orden, G. C. (2007). The emergent coordination of cognitive function. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136, 551-568.
- Kelso, J.A.S., Holt, K.G., Rubin, P. & Kugler, P.N. (1981). Patterns of human interlimb coordination emerge from the properties of non-linear, limit cycle oscillatory processes: Theory and data. *Journal of Motor Behavior*, 13, 226-261.
- Kelso, J.A.S., Ding, M. & Schöner, G. (1993). Dynamic pattern formation: A primer. In L.B. Smith & E. Thelen (Eds.), *A dynamic systems approach to development* (pp. 13-50). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kernis, M.H. (1993). The roles of stability and level of self-esteem in psychological functioning. In R.F. Baumeister (Ed.), *Self-esteem: the puzzle of low self-regard* (pp.167-182). New York : Plenum Press.
- Klein, G. (2000). Les programmes de seconde au lycée. Déjà clos ? Encore en débat ? *Revue EPS*, 281, 19-22.
- Le Boterf, G. (1994). *De la compétence. Essai sur un attracteur étrange*. Paris : Les Éditions d'organisation.
- Le Boulch, J. (1966). *L'éducation par le mouvement*. Paris : ESF.
- Le Boulch, J. (1978). *Vers une science du mouvement humain*. Paris : ESF.
- Le Moigne, J.L. (1999), *La modélisation des systèmes complexes*. Paris : Dunod.
- Lemoine, L., Torre, K, & Delignières, D. (2006). Testing for the presence of  $1/f$  noise in continuation tapping data. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 60, 247-257.
- Leplat, J. et Pailhous, J. (1976). Conditions cognitives de l'exercice et de l'acquisition des habiletés sensori-motrices. *Bulletin de Psychologie*, 321, 205-211.
- Lo, A. (1991). Long-term memory in stock market prices. *Econometrica*, 59, 1279–1313.
- Mackey, M.C., & Glass, L. (1977). Oscillation and chaos in physiological control systems. *Science*, 197, 287–289.
- Mandelbrot, B. (1967). How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractal dimensions. *Science*, 155, 636-638.
- Mandelbrot, B. (1995). *Les objets fractals.*, Paris : Flammarion.

- Massaro, D.W. (1999). What does dynamical systems theory tell us about small groups? *American Journal of Psychology*, 112, 643-658.
- Morange, M. (2005). *Les secrets du vivant : contre la pensée unique en biologie*. Paris : La Découverte.
- Morin, E. & Le Moigne, J.L. (1999). *L'intelligence de la complexité*. Paris : L'Harmattan.
- Morin, E. (1996). Pour une réforme de la pensée. *Le Courrier de l'Unesco*, 49 (2), 10-14.
- Ninot, G., Fortes, M. & Delignières, D. (2001). A psychometric tool for the assessment of the dynamics of the physical self. *European Journal of Applied Psychology*, 51, 205-216.
- Nourrit, D., Delignières, D., Caillou, N., Deschamps, T., & Lauriot, B. (2003) On discontinuities in motor learning: A longitudinal study of complex skill acquisition on a ski-simulator. *Journal of Motor Behavior*, 35, 151-170.
- Paillard, J. (1984). Espace et structures d'espace. In J. Paillard (Ed.), *La lecture sensorimotrice et cognitive de l'expérience spatiale (pp. 7-19)*. Collection Comportements, CNRS, Paris : CNRS, Collection Comportements.
- Parlebas, P. (1976). *Activités physiques et éducation motrice*. Paris: Editions Revue EPS.
- Peng, C.-K., Hausdorff, J.M., & Goldberger, A.L. (2000). Fractal mechanisms in neural control: Human heartbeat and gait dynamics in health and disease. In J. Walleczek (Ed.), *Self-Organized Biological Dynamics and Nonlinear Control*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- Peng, C.-K., Mietus, J., Hausdorff, J.M., Havlin, S., Stanley, H.E., & Goldberger, A.L. (1993). Long-range anti-correlations and non-Gaussian behavior of the heartbeat. *Physical Review Letter*, 70, 1343-1346.
- Perrenoud, P. (1983). La pratique pédagogique entre l'improvisation réglée et le bricolage. *Éducation et Recherche*, 2, 198-212.
- Perrenoud, P. (1997). *Construire des compétences à l'école*. Paris : ESF.
- Perrenoud, P. (1999). Construire des compétences, tout un programme. *Vie pédagogique*, 112, 16-20.
- Pineau, C. (1992). L'évaluation en EPS. *EPS*, 235, 43-46.
- Portes, M. (1999). Nouveaux programmes d'EPS et rénovation des pratiques. *Revue EPS*, 278, 27-30.
- Reboul, O. (1980). *Qu'est-ce qu'apprendre ?* Paris : PUF.
- Rey, B (1996). *Les compétences transversales en question*. Paris : ESF.
- Rey, B., Carette, V., Defrance, A. & Kahn, S. (2003). *Les compétences à l'école — Apprentissage et évaluation*. Bruxelles : De Boeck.
- Roegiers, X. (2003). *Des situations pour intégrer les acquis*. Bruxelles: De Boeck.
- Rovegno, I. (2000) What is Taught and Learned in Physical Activity Programs: The Role of Content. In J.F. Gréhaigne, N. Mahut & D. Marchal (Eds.), *Qu'apprennent les élèves en faisant des activités physiques et sportives ?* CD-Rom des Actes du Colloque International de l'AIÉSEP. Besançon : IUFM de Franche-Comté.
- Schmidt, R.C., Carello, C., & Turvey, M.T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 227-247.

- Scholz, J.P. & Kelso, J.A.S. (1990). Intentional switching between patterns of bimanual coordination depends on the intrinsic dynamics of the patterns. *Journal of Motor Behavior*, 22, 98-124.
- Seifert, L., Delignières, D., Boulesteix, L., & Chollet, D. (2007). Effect of expertise on Butterfly stroke coordination. *Journal of Sport Science*, 25, 131-141.
- Seve, C., Poizat, G., Saury, J., & Durand, M. (2006). A grounded theory of elite male table tennis players' activity during matches. *Sport Psychologist*, 20, 58-73.
- Simon, H.A. (1990). Invariants of human behavior. *Annual Review of Psychology*, 41, 1-19.
- Sournia, J.C. (1982). *Histoire et médecine*. Paris: Fayard.
- Stephan, Y., Bilard, J., Ninot, G., & Delignières, D. (2003). Repercussions of transition out of elite sport on subjective well-being: A one-year study. *Journal of Applied Sport Psychology*, 15, 354-371.
- Taqqu, M.S, Teverovsky, V. & Willinger, W. (1995). Estimators for long-range dependence: an empirical study. *Fractals*, 3, 785-798.
- Temprado, J.J, Della-Grasta, M., Farrell, M. & Laurent, M. (1997). A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*, 16, 653-676.
- Temprado, J.J, Della-Grasta, M., Farrell, M. & Laurent, M. (1997). A novice-expert comparison of (intra-limb) coordination subserving the volleyball serve. *Human Movement Science*, 16, 653-676.
- Temprado, J.J., Zanone, P.G., Monno, A., Laurent, M. (1999). Attentional load associated with performing and stabilizing preferred bimanual patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1-16.
- Teulier, C., Nourrit D. & Delignières, D. (2006). The evolution of oscillatory behavior during learning on a ski-simulator. *Research Quarterly in Exercise and Sport*, 77, 464-475.
- Thévenin, J. (1975). Les points d'appui dynamiques. *Revue EPS*, 135, 36-39.
- Thuan, T.X. (1998). *Le chaos et l'harmonie. La fabrication du réel*. Paris : Gallimard.
- Tochon, F. (1993). *L'enseignant expert*. Paris : Nathan.
- Torre, K, Delignières, D., & Lemoine, L. (2007a). Detection of long-range dependence and estimation of fractal exponents through ARFIMA modeling. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 60, 85-106.
- Torre, K. & Delignières, D. (2008). Distinct ways of timing movements in bimanual coordination tasks: Contribution of serial correlation analysis and implications for modelling. *Acta Psychologica*, 129, 284-296.
- Torre, K. & Wagenmakers, E.J. (2008). Theories and models for  $1/f$  noise in human movement science. *Human Movement Science*, sous presse.
- Tuckman, B.W. (1965). Developmental sequences in small groups. *Psychological Bulletin*, 63, 384-399.
- Tuller, B. (2004). Categorization and learning in speech perception as dynamical processes. In M. A. Riley & G.C. Van Orden (Eds.), *Tutorials in Contemporary Nonlinear Methods for the Behavioral Sciences* (pp. 353-400).

- Vallacher, R.R. & Nowak, A. (1997). The emergence of Dynamical Social Psychology. *Psychological Inquiry*, 8, 73-99.
- Van Gelder, T. (1998). The dynamical hypothesis in cognitive science. *Behavioral and Brain Science*, 21, 615-665.
- van Orden, G. (2007). The fractal picture of health and wellbeing. *Psychological Science Agenda*, 22.
- Van Orden, G. C., Holden, J. G., & Turvey, M. T. (2003). Self-organization of cognitive performance. *Journal of Experimental Psychology : General*, 132, 331-350.
- Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, 30, 245-252
- Viragello, G. (1983). Changement et objet de changement en Education Physique et Sportive. *Revue STAPS*, 8, 5-11.
- West, B. & Scarfetta, N. (2003). Nonlinear dynamical model of human gait. *Physical Review E*, 67, 051917.
- Wiener, N. (1971). *Cybernétique et société*. Paris : Union Générale d'Édition.
- Wing, A., Daffertshofer, A. & Pressing, J. (2004). Multiple time scales in serial production of force: A tutorial on power spectral analysis of motor variability. *Human Movement Science*, 23, 569-590.
- Wing, A.L. & Kristofferson, A.B. (1973). Responses delays and the timing of discrete motor responses. *Perception and Psychophysics*, 14, 5-12.
- Zanone, P.G. & Kelso, J.A.S. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 403-421.
- Zanone, P.G. & Kelso, J.A.S. (1997). Coordination dynamics of learning and transfer: Collective and component levels. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1454-1480.