

1
2
3
4
5
6

Demain(s),

La science et le choix des possibles

Parties 1&2 – version pour relecture

7
8
9

présentation de l'ouvrage

Cette partie ne sera pas incluse dans l'ouvrage. Elle n'est là que pour aider les relecteurs.

10 Plusieurs demains sont-ils possibles ? Et si cela est le cas, pouvons nous choisir celui qui nous
11 semble préférable ? En un mot : « où est passé notre libre arbitre ? ». Au travers d'une
12 véritable enquête policière dans les domaines les plus récents des sciences, nous découvrirons
13 qu'il existe plusieurs futurs possibles, tous compatibles avec la causalité et les lois de la
14 nature. L'homme a le choix... à condition d'en être conscient.

15
16 Chaque chapitre propose une étape dans l'investigation ; Tout d'abord, nous découvrirons que
17 le monde est parfois imprévisible et même fondamentalement indéterminé. Cela signifie qu'il
18 existe plusieurs futurs possibles. Certains sont plus probables que d'autres et si nous nous
19 livrons au hasard, ce sont « probablement » ceux qui nous attendent. Ces futurs non choisis ne
20 sont pourtant pas forcément les plus désirables. Nous pouvons aussi exercer notre capacité de
21 décision et faire pencher la balance du côté du futur pour lequel nous aurons opté. Pour
22 choisir, il faut cependant avoir des alternatives. Plusieurs facteurs réduisent les différentes
23 options qui se présentent et nous rendent les autres possibilités invisibles. Ainsi, nos
24 croyances dans un des futurs possibles nous rendent souvent aveugles aux autres éventualités.
25 A l'inverse, nous pouvons décider de croire à une autre des alternatives et faire ainsi une «
26 prophétie auto-réalisatrice ». Il s'agit d'un outil d'une formidable efficacité. L'important est
27 donc d'être conscient des possibles et conscient du sens dans lequel nous voulons aller. Alors
28 seulement nous aurons gagné notre liberté de choisir parmi les demains.

29
30 Notre investigation nous conduira dans des disciplines aussi différentes que les
31 mathématiques, la physique, l'astronomie, les technologies, les sciences du vivant et de la
32 terre, l'économie, la sociologie... Les témoignages de chercheurs et de spécialistes nous
33 fourniront de précieux indices. Dans certains cas nous devrons également aller voir d'autres
34 « suspects » tels que les Arts ou la Philosophie. Au final, nous chercherons à mettre en
35 pratique la célèbre phrase d'Antoine de Saint Exupéry : « Pour ce qui est de l'avenir, il ne
36 s'agit pas de le prévoir mais de le rendre possible ».

Sommaire du livre

- 1
2
3
4
5 ❖ **Au secours, on a tué demain !**
6 ❖ **Partie 1 - Qu'est-ce que la science ?**
7 ➤ *Philibert . bientôt les vacances*
8 ➤ Les différentes formes de connaissance
9 ➤ 1^{ère} étape : observer le réel
10 ➤ 2^{ème} étape : chercher les qualités premières
11 ➤ 3^{ème} étape : imaginer des hypothèses
12 ➤ 4^{ème} étape : trouver la loi derrière l'effet
13 ➤ 5^{ème} étape : prévoir de nouveaux phénomènes observables
14 ➤ 6^{ème} étape : expérimenter
15 ➤ La démarche scientifique
16 ➤ Mais où est passé la réalité ?
17 ➤ *Rapport d'enquête*
18 ❖ **Partie 2 - Le monde est-il imprévisible ?**
19 ➤ *Philibert : en route !*
20 ➤ Une science basée sur la prévision
21 ➤ 1^{er} problème : le monde c'est le chaos
22 ➤ 2^{ème} problème : le monde est complexe
23 ➤ Il faut aller plus loin...
24 ➤ *Rapport d'enquête*
25 ❖ **Partie 3 – A la recherche de l'indéterminé**
26 ➤ *Philibert à la croisée des chemins*
27 ➤ Les lois déterministes de la science
28 ➤ 1^{ère} piste : un Dieu déterministe et un homme qui ne l'est pas
29 ➤ 2^{ème} piste : un monde déterministe et une connaissance qui ne l'est pas
30 ➤ 3^{ème} piste : des lois déterministes et des conditions initiales qui ne le sont pas
31 ➤ 4^{ème} piste : une cause, plusieurs effets
32 ➤ Le cas de la physique des particules
33 ➤ *Rapport d'enquête*
34 ❖ **Partie 4 – Du possible au réel**
35 ➤ *Le dilemme de Philibert*
36 ➤ 1^{er} stade : identifier les possibles
37 ➤ 2^{ème} stade : choisir
38 ➤ Et le réel fut...
39 ➤ *Rapport d'enquête*
40 ❖ **Partie 5 - Les pièges du choix**
41 ➤ *Philibert : retour au bercail*
42 ➤ 1^{er} piège : nous et le choix
43 ➤ 2^{ème} piège : voir l'invisible
44 ➤ Expérimenter notre libre arbitre
45 ➤ *Rapport d'enquête*
46 ❖ **En guise de conclusion : rouvrir les portes du possible**
47

1 **Au secours, on a tué demain !**

2 *Version 3.2 du vendredi 23 février 2007*

3 **No future**

4 *Sur les lieux du crime*

5 Il y a eu un assassinat ! Enfin il faudrait parler de meurtre ou d'homicide car la préméditation
6 n'est pas prouvée... Même le terme « homicide » ne convient pas car la victime n'est à vrai
7 dire pas un homme. C'est l'avenir qu'on assassine.

8
9 Vous me direz que le code pénal ne prévoit pas de délit de « futuricide ». Mais si on nous
10 supprime notre avenir, si notre destin est tout tracé, c'est également notre capacité de choisir
11 qui disparaît. On nous dit que le futur dépend de nos choix présents. Mais, que se passe-t-il si
12 nos choix présents eux-mêmes sont entièrement déterminés par notre passé ? Ce libre arbitre
13 qui fait de nous ce que nous sommes disparaît, et avec lui notre qualité d'homme. Finalement,
14 le terme d'homicide ne convient pas si mal. Tuer l'avenir, c'est mourir un peu.

15 *Destin, devenir ou avenir, les multiples identités de la victime*

16 Il faut dire que le futur est difficile à attraper, il se cache sous tant de termes différents¹.
17 Lorsqu'on l'appelle **destin**, il est inéluctable, plus rien ne peut le changer. La capacité la plus
18 grande dans ce cas que puisse acquérir un homme est simplement de le deviner. Il se penche
19 par la fenêtre du train de la vie et regarde un petit peu en avance ce que le commun des
20 mortels ne découvrira qu'un peu plus tard. Une fois revenu dans le wagon, il fera une
21 « divination » lorsque sa prédiction concernera une personne ou une « prophétie » lorsqu'elle
22 concernera une cité ou tout un peuple. Au passage, notre **devin** ou **prophète** acquerra un
23 statut social qui améliorera son ordinaire... ou le conduira à sa perte.

24
25 Mais la philosophie et la science sont passées par-là et nous ont proposé de sortir de ce
26 système. Le futur s'est transformé en **devenir**. C'est en regardant le présent que l'on peut
27 découvrir le passé. Ce passé et ce présent réunis nous ouvrent les portes du futur. On ne
28 cherche plus à « prédire » le futur mais à le « prévoir ». La science nous a appris à prévoir la
29 trajectoire d'une pomme ou d'une planète. Mais lorsque l'on parle de l'homme ou de la
30 société, la prévision scientifique devient complexe et aléatoire. Les **futurologues** choisissent
31 parmi les futurs possibles celui qu'ils souhaitent privilégier. Ils justifient ainsi par
32 anticipation, parfois même sans le savoir, l'idéologie du présent. Ils cherchent à faire une
33 prédiction créatrice comme le dirait Robert K Merton, en forçant le futur à devenir la suite de
34 ce qu'ils croient connaître du présent. Les **prospectivistes** semblent plus prudents. Ils font des
35 conjectures qui forment autant de futurs possibles, des « futuribles » suivant le terme de
36 Bertrand de Jouvenel. Bien sûrs, ceux-ci sont encore tout entachés de nos propres a priori. La
37 prospective est là avant tout pour éclairer le présent en mettant sous la loupe grossissante du
38 devenir les différentes facettes de notre présent.

39
40 L'**avenir** quant à lui fait appel à notre imaginaire. Il permet de construire un discours nommé
41 **utopie** lorsqu'il vient d'une analyse sociale ou **science-fiction** lorsqu'il est issu de la culture
42 scientifique. Il n'est fait que de conjectures. Il ne s'agit plus de prévoir le futur mais de
43 l'imaginer, et parfois même de chercher ensuite à le rendre possible. Cette distinction entre la

¹ André-Clément Découflé, *La prospective*, Que sais-je ?, 2^{ème} édition, Paris 1980

1 prévision qui cherche ce que sera demain et les conjectures qui proposent plusieurs demains
2 pour éclairer notre présent semble être la clé qui nous ouvre les portes du choix.

3 *Qui est le coupable ?*

4 Mais les conjectures ne sont souvent que des hypothèses dont une seule se révélera juste. La
5 diversité des futurs que nous pouvons décrire ne montre-t-elle que notre ignorance à découvrir
6 notre destin ou bien avons-nous la capacité de choisir parmi plusieurs avenir possibles ? Les
7 succès de la science dans les siècles passés nous ont souvent poussés vers une vision
8 mécaniste du monde où le futur n'est que le résultat du passé. Pourtant cette même science,
9 plus récemment, semble avoir changé son fusil d'épaule. A-t-elle redonné une place au libre
10 arbitre ? Si c'est le cas, pourquoi continuons-nous à penser comme avant ; à croire que telle
11 chose est vraie ou fausse sans même nous donner la peine de tenter de la tester par nous
12 même ? En clair, qui est le meurtrier : notre civilisation scientifique, les autres ou bien ...
13 nous même ?

14

15 Que de questions ! Venez avec moi, nous allons nous lancer dans une enquête sur un des plus
16 grands homicides de tous les temps : qui a tué demain ? Et surtout... est-il vraiment mort ?

17 **L'enquête démarre**

18 *Un immense champ d'investigation*

19 Il nous faut un point de départ. Nous allons interroger notre premier suspect : la Science. Mais
20 les choses ne se présentent pas aussi simplement que nous pourrions l'espérer. Il faudrait
21 parler des Sciences. Faut-il se concentrer sur une seule d'entre elle ? Nous risquerions de
22 laisser filer le coupable. Peut-être même la détermination du responsable est-elle le principe
23 même de la démarche scientifique...

24

25 Nous allons donc devoir interroger le plus grand nombre de sciences possibles. Cela semble à
26 contre courant dans notre monde où la pluridisciplinarité est si mal reconnue. Tant pis ! Nous
27 sommes là pour investiguer et non pour obtenir des honneurs scientifiques... De plus, il
28 semble que les sciences ont des liens entre elles et nous ne pourrions pas démêler ces
29 écheveaux sans prendre en compte toute la pelote. Par ailleurs, la comparaison entre des
30 choses a priori très différentes est également un mode de recherche. Nous ne nous priverons
31 donc pas d'interroger les autres suspects : la Philosophie et les Arts.

32 *La dépose par hélicoptère*

33 Bien sûr, notre enquête ne pourra pas prétendre à l'exhaustivité. Nous pourrions même passer
34 à coté d'indices qui auraient dû nous paraître évidents, tant le champ de la connaissance
35 scientifique est vaste. Nous allons utiliser ce que le philosophe Michel Serres appelle la
36 « dépose par hélicoptère ». Plutôt que de gravir une à une toutes les étapes qui nous mènent à
37 une connaissance particulière, nous allons nous faire déposer directement au sommet. Ainsi,
38 nous pourrions en un temps raisonnable visiter un grand nombre de points culminants de la
39 connaissance pour y chercher nos indices. Cette approche est bien sûr frustrante pour les
40 véritables scientifiques qui après une longue et difficile marche atteignent une cime... où
41 nous les attendons pour les interviewer ! Mais si nous connaissons aujourd'hui le sommet sur
42 lequel nous nous posons, nous le leur devons entièrement et nous ne pourrions que leur en être
43 redevables. Avec cette approche, et malgré toute notre bonne volonté, nous ne sommes pas
44 non plus à l'abri d'erreurs. C'est une des raisons pour laquelle je vous propose de venir avec
45 moi dans cette aventure. Devant l'ampleur de la tâche, plus nous serons nombreux et plus
46 nous aurons de chances de trouver des indices intéressants sur notre chemin.

1 **Qui est « je » ?**

2 Mais je me rends compte que je ne me suis pas présenté... « Je » suis un être collectif. Je suis
3 scientifique et néophyte. Je suis spécialiste des sciences physiques, des sciences de la terre,
4 des sciences du vivant, des sciences humaines et sociales, des technologies et de la
5 philosophie. Je suis amateur éclairé ou simple curieux. En réalité, je ne suis pas trop de
6 plusieurs pour englober la diversité de notre terrain d'investigation ! Toutes ces multiples
7 facettes de moi-même ne rédigent pas en même temps le texte que vous êtes en train de lire.
8 En fait l'un d'entre nous sert de scribe pour coucher sur le papier un premier texte qui résulte
9 du savoir accumulé avant nous, de nos échanges et des idées dans l'air du temps. Un autre
10 procède aux auditions qui mettront en valeur tels ou tels travaux dans le cours de notre
11 enquête. Ensuite, le texte est lentement affiné par les apports de chacune de mes multiples
12 facettes qui relit individuellement ou en groupe. Je corrige, ajoute, enrichis pour vous offrir
13 un texte un peu plus abouti même s'il ne pourra jamais prétendre être complet.

14
15 C'est à ce stade que vous intervenez, cher compagnon de voyage. Si j'ai choisi la première
16 personne du singulier pour désigner l'être collectif que je suis, j'utiliserai la deuxième
17 personne du pluriel pour m'adresser à vous - Par courtoisie sans doute, mais également pour
18 mettre en valeur les multiples facettes de vos points de vue. Vous êtes peut être spécialiste
19 d'un, deux ou plusieurs domaines particuliers et certainement néophyte dans d'autres. Vous
20 êtes le suivant sur la liste pour venir nous rejoindre dans notre « jeu » collectif. Il reste des
21 failles à ce stade de l'enquête. Certaines vous apparaîtront évidentes, même si elles ont
22 échappé à tous les autres. Ces oublis, ces erreurs mêmes, ne sont pas simplement inévitables
23 sur un terrain d'investigation aussi large, ils créent également des espaces d'ouverture qui
24 vous permettent d'apposer vos propres idées.

25 **En route !**

26 Vous ai-je convaincu de m'accompagner dans cette incroyable enquête ? Alors venez. Par
27 votre lecture, vos réflexions et vos idées, c'est à vous d'écrire la nouvelle version de ce livre.
28 Mais avant, commençons par une petite histoire...

29
30 *[Note pour les relecteurs : Cher(e) ami(e), merci d'avoir accepté de vous insérer dans cette*
31 *aventure. Par rapport au lecteur qui tiendra le livre final entre ses mains, vous disposez d'un*
32 *avantage : vos ajouts, corrections et idées arriveront à temps pour être intégrés dans le texte.*
33 *En quelque sorte, vous faites parti du premier « je(u) ». Une fois le livre paru, les lecteurs*
34 *suivants continueront d'imaginer des corrections et des ajouts, mais ceux-ci resteront*
35 *virtuels. Ils participeront au livre qui aurait été possible s'ils avaient pu le relire avant sa*
36 *parution. Pour votre part, vous contribuez au livre réel, celui dans lequel tout un chacun*
37 *pourra se plonger une fois les relectures terminées.*

38
39 *Mais cet avantage est assorti d'un inconvénient : la version que vous avez entre les mains est*
40 *par définition moins aboutie. Il reste des erreurs, des imprécisions que vous pourrez corriger.*
41 *Mais surtout, la multiplicité des idées exprimées n'a pas encore trouvé tous ses*
42 *enchaînements. La lecture en est donc plus ardue, moins homogène. Une fois les corrections*
43 *intégrées, il restera encore une passe d'écriture pour réorganiser un peu les idées et faire se*
44 *dissiper cette impression de trop plein d'idées qu'ont noté les premiers membres du « je ».*

45
46 *Lorsque le texte sera arrivé à maturité, nous espérons qu'il sera devenu aussi facile à lire que*
47 *l'introduction, tout en entraînant le lecteur aux confins de la science, de la philosophie et des*
48 *arts. Merci encore d'avoir accepté de relire ce texte encore immature pour l'aider à*
49 *grandir... et bonne lecture.]*

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23

1^{ère} partie : qu'est-ce que la science ?

Version 3.2 du vendredi 23 février 2007

*« Un homme savant a compris un certain nombre de vérités.
un homme cultivé a compris un certain nombre d'erreurs. »
Alain, Extrait des Vigiles de l'esprit*

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48

Philibert : Bientôt les vacances

Encadré 1 - La classe de Philibert*

[Dessin à ajouter : Dessin de la classe de Philibert avec le professeur au tableau]

« Philibert ! - dit monsieur Henriot par-dessus ses petites lunettes en demi-lunes - ce n'est pas parce que nous arrivons aux vacances qu'il faut rêvasser ! ». Le professeur de sciences était vêtu d'un gilet et d'une chemisette jaune qui cachaient mal une quarantaine débonnaire. Sa petite moustache et ses cheveux en bataille lui avaient valu le surnom d'Einstein. « Puisque vous semblez apprécier les étoiles - reprit-il - pouvez-vous nous raconter comment les hommes ont compris que la Terre tournait autour du Soleil et non l'inverse ». Les autres élèves de la 5^{ème} A se détendirent, heureux de pouvoir passer ces quelques dernières heures de classe sans trop d'effort.

Philibert s'avança au tableau. Par chance il aimait réellement les étoiles et avait lu de nombreux livres d'astronomie avant même que monsieur Henriot ne leur parle de Copernic. Il prit une inspiration et dit :

« Depuis toujours, les hommes ont cherché des explications pour les phénomènes qu'ils observaient. Mais ils ne pouvaient pas en vérifier la justesse. Ils ont ainsi imaginé le mythe d'un Dieu tirant le soleil sur son char pour justifier la course apparente du Soleil autour de la Terre. Mais, d'autres explications ont également été avancées. Près de trois siècles avant Jésus Christ, Aristarque de Samos avait mesuré la distance Terre-Soleil et la taille du Soleil. Malgré l'imprécision de ses mesures, il découvrit que le Soleil est beaucoup plus gros que la Terre. Il en déduisit que ce devait être la Terre qui tournait autour du Soleil et non l'inverse. Ce fut sans doute le premier énoncé de cette théorie appelée l'héliocentrisme. Mais il ne fit pas l'unanimité. D'ailleurs, bien que nous n'ayons plus ses écrits, nous connaissons ses travaux grâce à la critique sévère qu'en a fait Archimède qui elle est parvenue jusqu'à nous. Par la suite, la théorie inverse, le géocentrisme, développée par Aristote et améliorée par Ptolémée fut considérée comme la thèse officielle. »

Philibert reprit son souffle en jetant un petit coup d'œil vers la salle pour voir l'effet que produisait son discours. « Il fallut attendre la Renaissance pour que les choses changent à nouveau. Les instruments permettaient des mesures de plus en plus précises de la trajectoire des planètes. Celles-ci semblaient curieusement accélérer ou ralentir. Mars avait même l'idée saugrenue de revenir parfois en arrière. Pour expliquer cela, il fallut ajouter de nouveaux rouages dans la mécanique céleste. Ces « épicycles » fonctionnaient comme des roues dentées qui permettaient d'ajuster la trajectoire des planètes à ce qui était effectivement observé. Ce n'est qu'à la Renaissance que Nicolas Copernic reprit la thèse de l'héliocentrisme dans son livre « du mouvement des corps célestes ». Celui-ci fut publié le jour même de sa mort. Les observations nécessaires pour démontrer la nouvelle théorie furent réalisées par Tycho Brahe...

« Ça suffit, c'est parfait comme cela ! N'allez pas plus loin que ce que nous avons déjà vu en cours » dit le professeur précipitamment. Philibert retourna à sa place, content de son petit effet et légèrement frustré de devoir céder la place à « Einstein » pour la suite. « Comme a commencé à vous dire votre camarade, c'est à partir des mesures extrêmement précises de

1 Tycho Brahe que Johannes Kepler put calculer les trajectoires des planètes. Il découvrit
2 qu'elles effectuaient une ellipse autour du Soleil et énonça les lois qui portent son nom.
3 Pendant ce temps, Galilée inventa la lunette astronomique. En observant les vallées de la
4 Lune, il en déduisit qu'il s'agissait d'un corps comme la Terre. Il découvrit également quatre
5 lunes autour de Jupiter. Ainsi, tout ne tournait pas autour de la Terre ! Ses thèses furent
6 condamnées en 1633 par l'église dans un procès resté célèbre. » Monsieur Henriot retira ses
7 lunettes et fixa la classe avec un air grave. « Mais l'histoire ne s'arrête pas là. Quelques
8 années plus tard, Isaac Newton voulut savoir pourquoi les trajectoires des planètes suivaient
9 les trois lois de Kepler. Il découvrit que les lois étaient les mêmes sur la Terre (par exemple
10 la chute d'une pomme vers la terre) et dans le ciel (la trajectoire des planètes). La gravitation
11 universelle montre que tous les corps s'attirent proportionnellement à leur masse et de façon
12 inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Newton pensait qu'un
13 petit nombre de lois physiques suffisaient à expliquer le monde, qu'elles n'étaient pas en
14 contradiction avec la religion et qu'au contraire, elles démontraient la toute puissance de
15 Dieu ».

16
17 « Il restait certains détails mal expliqués par la théorie de Newton. Ce fut Albert Einstein... -
18 une légère agitation parcourut les rangs - Ce fut Einstein donc qui au début du XXème siècle,
19 proposa une théorie cohérente avec celle de Newton pour les petites masses mais qui en
20 divergeait lorsque les masses devenaient plus importantes. Sa théorie expliquait un certain
21 nombre de phénomènes inexplicables en montrant que les masses déforment l'univers. Mais il
22 ne suffit pas qu'une théorie explique mieux les phénomènes observés pour qu'elle soit
23 considérée comme vraie, sinon nous reviendrions aux mythes dont nous a parlé Philibert. Les
24 scientifiques attendent d'une théorie, pour la considérer comme vraie, qu'elle prédise des
25 choses nouvelles jamais encore observées. Les équations d'Einstein avaient une curieuse
26 conséquence : selon elles, la lumière devait être déviée au passage d'une masse importante.
27 Si cela était vrai, il devrait être possible de voir des étoiles normalement cachées derrière le
28 Soleil. Lors de l'éclipse du 29 mai 1919, les scientifiques purent observer les étoiles justes au
29 bord de l'astre sans être gênés par sa luminosité. Les étoiles que l'on pouvait voir à la
30 périphérie du Soleil auraient normalement dû être cachées par lui. Ainsi, la nouvelle théorie
31 put remplacer l'ancienne et Einstein entra dans l'histoire. »

32
33 A ce moment précis la cloche se mit à sonner. Monsieur Henriot eut à peine le temps de
34 balbutier « bonnes vacances » que les élèves s'étaient déjà évaporés. Philibert, en quittant la
35 salle, ne savait pas encore qu'il vivrait bientôt des aventures qui allaient le mener bien loin,
36 aux limites de la connaissance humaine.

1

2 **Les différentes formes de connaissance**

3 **Premier suspect : la science**

4 *Agir consciemment pour acquérir de la connaissance*

5 Qui donc a tué le libre arbitre ? Nous pouvons commencer à chercher du côté de la Science.
6 Elle nous a montré le mécanisme inéluctable qui associe à chaque cause un effet prévisible.
7 Nous avons donc un premier suspect dans notre enquête. Son but est de nous permettre
8 d'obtenir toujours plus de connaissances. Elle nous a permis des progrès gigantesques mais
9 dans le même temps elle est devenue omniprésente.

10

11 Si nous remontons un cran en arrière, ce que nous recherchons à travers la science, c'est la
12 Vérité. Nous ne savons pas si nous pouvons l'atteindre, ni même si elle existe, mais le fait
13 même de rechercher la Vérité nous fait avancer sur le chemin de la connaissance. Cette
14 connaissance, même approximative, nous permet de mieux nous adapter, de mieux survivre
15 dans notre environnement et peut-être même de progresser, mais vers où ?

16

17 La science utilise pour cela différents outils tels que l'observation ou bien encore notre
18 capacité à réfléchir. Ces instruments ont une particularité, ils font appel à des actions
19 conscientes de notre part. C'est d'ailleurs le cas également de la philosophie qui fait appel à
20 notre capacité d'étonnement et utilise notre raison. Si nous devons interroger notre premier
21 suspect, la Science, sur son emploi du temps de ces derniers siècles, nous ne pourrions pas la
22 dissocier si facilement de la Philosophie. Qu'à cela ne tienne ! Nous les interrogerons
23 ensemble et nous chercherons plus tard à voir si nous pouvons les distinguer.

24

Encadré 2 - Qui d'autre a de la conscience ?

25 Le terme conscience que nous utilisons ici signifie que nous nous voyons nous même en train
26 de réfléchir ou d'expérimenter. Nous sommes capables de regarder la façon dont nous
27 agissons... du moins à certains moments. Il ne s'agit donc pas de cet autre sens du mot
28 conscience qui manque si souvent à la science comme le dit la célèbre phrase de Rabelais :
29 « science sans conscience, n'est que ruine de l'âme ».

30

31 Si la Science et la Philosophie sont des moyens d'acquérir des connaissances en utilisant nos
32 actions conscientes, elles nous permettent de nous distinguer des animaux dont nous pensons
33 qu'ils ne sont pas conscients. Cela n'est d'ailleurs pas tout à fait vrai. Les recherches récentes
34 sur la conscience ont permis de découvrir que les choses n'étaient pas aussi binaires que nous
35 le croyions. Placez un chien devant une glace, il considérera son reflet comme un autre chien.
36 Mais si vous faites l'expérience avec certains primates supérieurs comme les chimpanzés ou
37 les bonobos, ils seront capables de découvrir qu'il s'agit d'eux-mêmes. Par exemple, placez-
38 lui une tâche de peinture sur le front et montrez-lui son reflet dans un miroir. Un chimpanzé
39 va se frotter le front, comprenant que le singe qui se trouve devant lui dans le miroir est en fait
40 lui-même. Cette capacité à s'identifier parmi son environnement est la marque d'une proto-
41 conscience. Les travaux récents de l'Intelligence Artificielle Evolutive nous montrent
42 également que nous ne pouvons d'ores et déjà plus considérer la conscience comme l'apanage
43 exclusif de l'homme. Mais pour l'instant, nous considérons que nous avons encore une bonne
44 longueur d'avance sur les autres animaux et sur les machines. Quant au reste de l'univers,
45 nous ne le connaissons pas assez pour savoir si la conscience existe ailleurs que chez l'homo-
46 sapiens terrestre.

1
2 Nous pourrions donc, à défaut d'autres exemples utilisables, étudier comment l'homme a
3 utilisé sa capacité à agir consciemment pour développer une science qui lui a permis
4 d'acquérir des connaissances.

5
6 Mais nos « méthodes conscientes », la Science et la Philosophie sont-elles les seules façons
7 d'obtenir des connaissances sur le réel ? En fait non. Il existe plusieurs façons de « tourner
8 autour de la réalité ». Regardons-les de plus près, même si nous ne pourrions pas toujours
9 savoir si ce sont de bons moyens d'atteindre la Vérité... en utilisant les critères de la science.

10 ***Apprendre d'un autre ce n'est pas de la science...***

11 Une autre façon d'obtenir des connaissances est de les recevoir de quelqu'un d'autre... Mais
12 cette autre méthode n'est pas elle-même une méthode scientifique. Cela peut sembler
13 surprenant et vous pourriez objecter que la personne qui nous transmet des connaissances les
14 a obtenues en utilisant une démarche scientifique. Cependant, que le savoir qui vous est
15 transmis soit scientifique ou au contraire construit sur de simples rumeurs, vous devez faire
16 confiance à la personne qui vous l'a transmis. La seule façon de rendre scientifique votre
17 connaissance ainsi acquise est de la prendre comme une hypothèse que vous chercherez à
18 confirmer en suivant à votre tour la démarche imposée par la science.

19
20 Une connaissance, même scientifique, peut être entachée d'erreurs ou au moins
21 d'approximations car il existe de nombreux pièges dans la science. De même, la transmission
22 de la connaissance se fait en général à l'aide d'un discours. Cette forme de communication
23 que nous avons développée avec le langage comporte ses propres pièges et approximations.
24 Même si votre maître vous engage à expérimenter par vous-même certains résultats obtenus
25 scientifiquement, cela ne veut pas dire que vous aurez effectué toutes les étapes d'une
26 démonstration scientifique. Il ne faut pas croire pour autant que la transmission d'un savoir
27 soit une mauvaise façon d'acquérir des connaissances. Il s'agit simplement d'une autre
28 méthode utilisant également notre capacité consciente mais qui y ajoute un autre
29 acteur extérieur à nous - celui qui transmet ce savoir - et à qui nous devons faire confiance.
30 L'apprentissage de connaissances comporte ses propres avantages et inconvénients.

31
32 Un autre exemple de connaissances transmises est celles apportées par les prophètes et cela
33 nécessite une confiance, une foi dans celui qui transmet un savoir. Quelle que soit la valeur de
34 la connaissance initiale, l'information elle-même peut être déformée, en particulier lorsqu'elle
35 est transmise de générations en générations, transcrite, traduite...

36 **D'autres méthodes sont non-conscientes**

37 ***Vous avez un message de votre inconscient***

38 Nous n'apprenons pas seulement consciemment. Depuis les travaux de Sigmund Freud, nous
39 savons que notre état conscient ne représente qu'une petite partie de nous-mêmes. Il a ainsi
40 montré comment les relations conflictuelles entre les exigences de la société et nos pulsions et
41 désirs nous ont obligé à refouler ces derniers dans notre inconscient lorsque nous les
42 considérons inacceptables. Cet inconscient nous délivre également des informations. Celles-ci
43 nous sont transmises de façon très différente du langage que nous connaissons. Les
44 informations, les connaissances sur nous-mêmes arrivent par l'intermédiaire de lapsus, de
45 rêves, ou encore de projections sur les autres de ce que nous avons refoulé de nous même.
46 Nous en sommes encore à un stade embryonnaire pour comprendre ces informations

1 transmises ou même pour accepter que nous n'ayons qu'une très petite part de conscience de
2 nous-mêmes. L'inconscient est sans doute la prochaine *terra incognita* à découvrir.

3 ***La foi***

4 Allons plus loin. Certaines connaissances peuvent-elles nous parvenir d'ailleurs ? Et même
5 existe-t-il un ailleurs que nous ne connaissons pas ou même que nous ne pouvons pas
6 connaître ? Si c'était le cas nous pourrions imaginer que peut-être, il est possible de
7 communiquer sous une certaine forme avec cet ailleurs. Les Religions considèrent qu'il existe
8 un ou plusieurs dieux qui se situent en dehors du monde, créateurs de celui-ci. Pourtant, à
9 partir de la fin du XVIIIème siècle, les philosophes romantiques considérèrent que Dieu n'est
10 pas extérieur au monde mais qu'il est « l'esprit du monde ». Comme le dit Friedrich Wilhelm
11 Schelling : « la nature est l'esprit visible, l'esprit la nature invisible ». Mais que Dieu soit en
12 dehors du monde ou qu'il en soit la totalité, la science ne peut ni le prouver ni l'infirmier car
13 elle ne peut, dans ce cas, utiliser ses propres outils : observation, expérimentation,
14 modélisation...

15
16 Les connaissances sur ces aspects divins peuvent être transmises par des prophètes comme
17 nous l'avons vu. Nous pouvons citer une deuxième forme de transmission plus personnelle. Il
18 s'agit de la foi, d'une certitude qui s'impose du message délivré. Mais de nouveau, nous ne
19 pouvons trancher scientifiquement sur le fait que ce message ait été entièrement créé par notre
20 inconscient ou bien que celui-ci n'ait fait que le transmettre depuis une source extérieure, avec
21 plus ou moins de déformation.

22
23 Les matérialistes considèrent que « l'hypothèse de Dieu » n'est pas nécessaire pour expliquer
24 le monde. Tout le fonctionnement de la nature telle que nous la connaissons repose sur des
25 lois que nous apprenons à connaître et tout particulièrement la loi de causalité. Si Dieu
26 représentait une volonté créatrice, il aurait alors un but, une finalité pour sa création. Le
27 monde a-t-il une finalité ou au contraire est-il poussé simplement par la succession des
28 causalités ? La vision scientifique du monde n'a pas permis actuellement de trouver des
29 phénomènes finaux, ce qui ne veut pas dire qu'ils n'existent pas. Saint Thomas d'Aquin
30 affirme qu'il y a deux chemins - la révélation et la raison - mais qu'il n'existe qu'une seule
31 Vérité, même si elle peut avoir plusieurs représentations. Si la Religion et la Science sont
32 deux formes d'acquisition de connaissances bonnes ou mauvaises, chacune ne sait rien dire
33 avec certitude sur la validité de l'autre.

34 ***Le channeling du New Age***

35 Prenons un nouvel exemple de connaissance inconsciente. Friedrich Nietzsche² à la fin du
36 XIXème siècle, a affirmé la « mort de Dieu » et de tout ce qui y est adossé : la science et la
37 morale européenne... Depuis, nous avons assisté à l'émergence de nouvelles formes de
38 spiritualité. Le « New Age » revendique le fait d'obtenir ses connaissances par canalisation
39 (channeling en anglais). Suivant cette technique, une personne reçoit par son inconscient un
40 message d'autres êtres qui peuvent être non incarnés (des anges, Dieu ou d'autres êtres
41 divins) ou bien incarnés (généralement des êtres plus évolués en provenance d'autres planètes
42 ou du centre de la Terre).

43
44 Si nous voulons rester sur le terrain scientifique, nous devons reconnaître que nous ne
45 pouvons ni infirmer ni prouver la validité de telles méthodes pour atteindre la vérité. Pour

² Friedrich Nietzsche, *Le gai savoir* (1882), trad. Alexandre Vialatte, coll. "Idées", Gallimard, 1972

1 démontrer que ce mode d'acquisition de la connaissance n'existe pas, il faudrait montrer que
2 TOUS les cas de canalisation sont faux. Tout au plus pouvons-nous parfois démontrer que
3 telle connaissance transmise est fautive ou que telle personne est un escroc. Si nous ne
4 pouvons pas démontrer que les thèses du New Age sont fausses, cela ne nous permet pas pour
5 autant de dire qu'elles sont vraies. En fait notre science - actuellement - ne permet pas de
6 trancher. Malheureusement cette incertitude fait le jeu de certains escrocs. Même s'il s'avérait
7 que la canalisation existe, nous ne pourrions jamais être certains que telle personne en
8 particulier dit la vérité. Nous reviendrons plus loin sur cette difficulté profonde qui fait qu'il
9 ne nous est pas toujours possible de décider si quelque chose est vrai ou faux.

10
11 Nous sommes mal à l'aise lorsque nous ne pouvons pas utiliser la démarche rationnelle de la
12 science comme ultime rempart pour décider de la validité ou non d'un autre mode
13 d'acquisition de connaissances. Alors, nous « faisons semblant » de faire de la science en
14 invoquant simplement le « bon sens » pour remplacer la preuve scientifique. Nous préférons
15 utiliser un argument d'autorité pour ne pas rester dans un état d'indécision. Sans un garde-fou
16 qui nous dit ce qui est vrai ou ce qui est faux, nous risquons le retour aux mythes. Nous
17 devons pourtant apprendre à marcher à certains endroits où ce garde-fou n'est pas présent.

18 *Le mimétisme c'est... pareil*

19 Lorsque nous avons listé des modes d'acquisition consciente de connaissance, nous avons
20 parlé de la transmission du savoir entre deux personnes. Un transfert d'information peut
21 également se faire de façon inconsciente. C'est le cas par exemple du mimétisme que l'on
22 retrouve par exemple dans la propagation de la panique au sein d'une foule. Celui qui
23 transmet un savoir comme celui qui le reçoit ne sont pas forcément conscients.

24
25 Le philosophe René Girard³ détaille l'action du mimétisme dans le mécanisme du bouc
26 émissaire : un groupe doit de temps en temps évacuer les pressions accumulées sous peine
27 d'éclater. Une des façons de faire est de concentrer la hargne des participants sur une seule
28 personne, en général plus faible et souvent extérieure au groupe. La violence gagne tout le
29 groupe par mimétisme et le bouc émissaire est sacrifié, lapidé moralement ou physiquement.
30 Mais une fois la tension évacuée, le groupe pour se reconstituer doit se recréer une bonne
31 conscience et donc oublier l'acte qui semble irrationnel de cette violence concentrée sur une
32 personne « qui n'y est pour rien ». René Girard décrit alors le mécanisme utilisé par le passé :
33 le souvenir est transformé. Le groupe trouve une raison a posteriori pour sa violence, en
34 invoquant en général la possession de la personne par un démon. Le massacre d'un innocent
35 est remplacé par la délivrance d'une personne possédée qui, une fois morte, est alors souvent
36 déifiée. La difficulté avec les phénomènes inconscients est qu'ils sont ... inconscients. Nous
37 ne pouvons pas facilement choisir d'agir ou non de telle manière et nous faisons beaucoup
38 d'efforts pour tenter de justifier a posteriori nos actions de façon rationnelle.

39
40 Heureusement, il existe des exemples plus positifs de mimétisme comme dans ceux qui
41 permettent à l'enfant d'apprendre de sa mère et des autres adultes. Le mimétisme est même un
42 des mécanismes fondamentaux de l'apprentissage. Les stimuli que nous recevons
43 inconsciemment et qui provoquent chez nous des réactions (par mimétisme ou autre) peuvent
44 nous pousser à agir positivement ou négativement. Mais comme nous n'en sommes pas
45 conscients, nous ne pouvons apparemment pas toujours décider d'agir dans un sens ou dans
46 un autre. Nous faisons « comme si » nos actions étaient rationnelles. Pourtant, bien que la

³ René Girard, *Le bouc émissaire*, Paris, Grasset, 1982

1 nature nous ait doté d'une conscience, celle-ci ne représente qu'une faible part de nos
2 réactions.

3 **Enquête sur la démarche scientifique**

4 Nous avons balayé plusieurs modes d'acquisition d'informations, de savoir et de
5 connaissance. Certains utilisent des processus conscients alors que d'autres « passent » par
6 l'inconscient. Il n'est pas toujours facile d'utiliser une de ces méthodes pour savoir si une
7 autre est juste ou fausse. Si nous cherchons à retrouver notre capacité de choix, il semble a
8 priori que nous la trouverons plus facilement dans le conscient que dans l'inconscient. Ou du
9 moins nous pouvons repreciser notre question initiale : « Où est passé notre capacité de choix
10 conscient ? »

11
12 Nous pouvons maintenant concentrer notre enquête sur l'approche scientifique et sur sa
13 compagne indissociable, la Philosophie. Finalement, notre méthode d'investigation n'est pas
14 très éloignée de celle utilisée par notre principale suspecte, la Science. Nous verrons que ce
15 n'est pas tout à fait vrai, mais dès maintenant nous sommes pris à notre propre jeu : comment
16 découvrir la Vérité sur un « futuricide » parmi des suspects dont la vocation est également de
17 découvrir la Vérité ?

18
19 Que nous le voulions ou non, la science ne peut s'ériger en arbitre unique de la validité de
20 toutes les connaissances. L'Eglise également, avait voulu en son temps s'ériger en arbitre de
21 la validité des hypothèses scientifiques. Nous avons bien souvent préféré fermer les yeux sur
22 cette incomplétude de l'église ou de la science dans notre recherche d'une autorité absolue.
23 Nous devons apprendre à vivre avec des limites, sans pour autant céder à toutes les
24 divagations ou escroqueries.

25
26 Pour aller plus loin, nous devons procéder avec méthode et regarder une à une toutes les
27 étapes de la démarche scientifique. Entrons dans la grande maison de la découverte
28 scientifique.

1

2 1^{ère} étape : observer le réel

3 **Observer, ça rassure et ça effraie...**

4 La première pièce dans laquelle nous entrons au rez-de-chaussée se nomme « Observation ».
5 De cette pièce, les anciens observèrent l'alternance du jour et de la nuit, ils virent que ce
6 phénomène se répétait sans cesse et ils purent considérer qu'il en serait ainsi par la suite.
7 Lorsqu'une exception arrivait, par exemple une éclipse totale du Soleil, la panique s'emparait
8 d'eux. Mieux comprendre le monde rassure, mais au contraire, l'arrivée de phénomènes
9 inexplicables crée un grand sentiment d'insécurité.

10

11 Ainsi, Observer a permis de trouver des repères qui nous rassurent ... mais également de
12 remettre en cause nos anciennes croyances. Chaque passage par cette étape de l'observation,
13 nous met mal à l'aise car il remet en cause nos certitudes mais il est riche en promesse d'un
14 pas supplémentaire sur le chemin de la connaissance.

15 **Trouver le prévu mais aussi l'imprévu**

16 Mais la démarche scientifique ne consiste pas seulement à trouver ce que l'on cherche, bien
17 au contraire ! Souvent, c'est au contraire la capacité à percevoir quelque chose d'inattendu
18 qui permet d'initier une nouvelle découverte comme le souligne Louis Leprince-Ringuet⁴ :
19 « *Celui qui trouve ce qu'il cherche fait en général un bon travail d'écolier ; pensant à ce qu'il*
20 *désire, il néglige souvent les signes, parfois minimes, qui apportent autre chose que l'objet de*
21 *ses prévisions. Le vrai chercheur doit savoir faire attention aux signes qui révéleront*
22 *l'existence d'un phénomène auquel il ne s'attend pas* ».

23

24 Pour la première étape du cycle scientifique il nous faut donc observer sans idées préconçues.
25 « *Un chercheur aguerri doit garder ses deux yeux ouverts : l'un pour des observations*
26 *cherchées et l'autre pour des observations non cherchées*⁵ »

27 **La sérendipité, l'art de découvrir l'imprévu**

28 Il existe un terme pour qualifier cela : la « sérendipité » que l'on peut définir comme « l'art de
29 découvrir, inventer et créer ce à quoi on ne s'attend pas⁶ ». Ce mot a été créé en 1754 par
30 Horace Walpole à partir de l'histoire des trois fils du roi de Serendip (le terme en perse ancien
31 pour indiquer le Sri Lanka actuel) qui découvraient des informations sans les rechercher en
32 avançant sur leur chemin (un peu sur le modèle du Zadig de Voltaire). Mais la meilleure
33 définition du mot est peut être « *rechercher une aiguille dans une botte de foin et en sortir la*
34 *fille du paysan* ». Même si toute observation nouvelle nous dérange - ou « dé-range » ce que
35 nous croyions savoir - elle nous pousse à chercher une idée pour l'expliquer... et sortir de
36 l'inquiétude.

37

Encadré 3 - Quand la recherche rencontre l'économie

38 *Comment justifier son travail de chercheur*

⁴ Louis Leprince-Ringuet, *des atomes et des hommes*, Paris, Fayard, 1957

⁵ Pek Van Anel, *Sérendipité, ou de l'art de faire des trouvailles*, in *Automates Intelligents*, février 2005, <http://www.automatesintelligents.com/echanges/2005/fev/serendipite.html>

⁶ *ibid*

1 Une des grandes difficultés que rencontre un scientifique dans son travail est que l'on attend
2 souvent qu'il se justifie avant d'avoir fini ou même avant d'avoir commencé une étude.
3 Lorsqu'enfin il a terminé son travail et démontré un fait nouveau, il doit alors le publier dans
4 une revue scientifique après être passé après une relecture par certains de ses pairs (ce
5 processus est appelé le « peer review »). Même à ce moment là, on attend de lui qu'il
6 démontre qu'il recherchait bien ce résultat et qu'il n'y est pas arrivé par hasard !
7

8 Martin Harwit, un astronome et historien américain s'est intéressé à la façon dont 43
9 découvertes de phénomènes cosmiques ont été réalisées. Il découvre qu'environ la moitié
10 n'étaient pas attendues : « Cela jette un peu de doute sur les critères normaux du "peer
11 review" parce que les critères courants reposent sur une justification théorique du travail que
12 le chercheur veut faire : surtout si on demande du temps pour [utiliser] un télescope ou toute
13 autre chose⁷ ». Les chercheurs doivent alors présenter leurs conclusions comme si elles
14 dériveraient de façon logique directement de leur première hypothèse. S'il indique la façon dont
15 s'est réellement passée la découverte, il est accusé de fraude ou de "prophétie rétrospective"
16 ou encore de "falsification rétrospective". La sérendipité s'oppose à l'approche "Harvard
17 Business School" qui présume que l'on peut planifier la recherche et le développement et que
18 le secteur doit seulement résoudre des questions sans "bavarder" à leur sujet".

19 *La recherche clandestine*

20 Ne pas justifier à l'avance les résultats attendus signifie bien souvent l'impossibilité pour un
21 chercheur de conduire ses travaux faute de financements. Pourtant, certaines entreprises ont
22 compris que la première étape de la démarche scientifique vient souvent d'une observation
23 due au hasard. Elles permettent à leurs chercheurs de passer une partie de leur temps à des
24 projets novateurs qui ne sont pas en lien direct avec ce qui leur est demandé. Pour la société
25 3M, cela représente 15% du temps des chercheurs. Mais lorsque ce procédé n'est pas
26 officiellement reconnu, le chercheur doit faire la même chose de façon cachée. On parle alors
27 de recherche clandestine ou "tiroir" comme on l'appelle aux Pays-Bas : « On cherche ce
28 qu'on veut, on met les résultats dans un tiroir, on demande de l'argent pour chercher et
29 trouver soi-disant ces résultats et si l'argent est donné on peut continuer à faire ce qu'on
30 veut⁸ ». Pek Van Andel indique même que « dans la Russie communiste, les plans
31 quinquennaux étaient remplis avec des recherches précédemment réussies, qui n'avaient pas
32 encore été publiées [...] Cette tradition de recherche de tiroir [est] une ruse de chercheur pour
33 défendre la liberté académique vis à vis des bureaucrates qui accordent des crédits de
34 recherche ».

35 *Les gros besoins financiers de la science moderne*

36 La difficulté vient de ce que la recherche demande le plus souvent de l'argent, pour payer les
37 scientifiques mais également pour conduire des expérimentations dans des domaines toujours
38 plus inaccessibles. Les difficultés rencontrées pour extraire des connaissances que nous
39 n'avons pas encore de la Nature nécessitent souvent de longues recherches afin de s'appuyer
40 utilement sur les travaux antérieurs, des connaissances approfondies dans une des nombreuses
41 formes de mathématiques, du temps de machine pour faire tourner le modèle et surtout des
42 moyens d'observation et d'expérimentation extrêmement puissants. Il reste de moins en
43 moins de domaines où une personne peut parcourir le cycle d'une découverte scientifique en
44 dilettante, en parallèle d'un autre emploi, comme Albert Einstein travaillant au bureau des
45 brevets de Berne pendant qu'il produisait ce qui allait devenir la théorie de la relativité. Il est

⁷ *ibid*

⁸ *ibid*

1 bien sûr possible de ne se concentrer que sur une partie du cycle qui ne demande pas de
2 moyens techniques, par exemple la proposition d'hypothèses cohérentes à partir de nouvelles
3 observations faites par d'autres. Mais si nous ne sommes pas considérés comme intégrés à la
4 communauté scientifique, il est alors mal aisé de convaincre les chercheurs de travailler sur
5 nos hypothèses plutôt que sur les leurs...

6
7 Les Etats ou les grandes entreprises qui financent la recherche fondamentale dans divers
8 domaines scientifiques veulent minimiser leurs risques. Ils ne peuvent plus attendre la fin du
9 cycle pour savoir s'ils ont raison de financer tel chercheur ou telle expérience. Le paradoxe
10 est que les financiers souhaitent prévoir le résultat d'une recherche avant même son
11 aboutissement, avant même de dépenser des grosses sommes d'argent. Prévoir le résultat
12 d'une recherche est souvent une activité bien peu scientifique. Elle ne peut s'appuyer que sur
13 des a priori ou bien risque de se concentrer sur les recherches qui ont le plus de chance
14 d'aboutir en écartant les hypothèses les plus originales. Curieusement, par son mariage avec
15 l'économie, la recherche doit laisser le moins de place possible à l'inconnu. Le chercheur se
16 sent souvent à l'étroit, encadré par des « trouveurs ». L'économie a profondément influencé
17 nos modes de pensée et chacun a pris l'habitude d'établir ses certitudes, sans même attendre
18 la fin de la démarche scientifique. Plus aucune hypothèse ne sera laissée flottante entre ceux
19 qui considèrent qu'elle reflète évidemment la réalité et ceux qui sont persuadés qu'elle est
20 fausse car les financeurs ont horreur de l'incertitude inhérente au processus de recherche.

21 **Que nous reste-t-il à observer ?**

22 Volontairement ou involontairement, nous avons observé beaucoup de phénomènes au cours
23 des siècles passés. L'homme a regardé la nature, les astres, lui-même... Nous, les hommes et
24 les femmes qui venons si tard dans la longue histoire humaine, nous reste-t-il quelque chose
25 que nos prédécesseurs n'ont pas encore observé ?

26 *...Ce qui était difficile à observer avant*

27 De fait, la plupart des choses faciles à voir ont été étudiées. Que nous reste-t-il donc à
28 observer en ce début de XXIème siècle ? La réponse est simple : ce qui était trop difficile à
29 examiner auparavant. Les progrès technologiques nous ont permis de réaliser des appareils
30 qui nous aident à voir, au moins indirectement, ce qui nous était invisible auparavant : le très
31 petit (les particules élémentaires), le très grand (l'univers), le très difficile d'accès (le fond des
32 océans, l'intérieur du globe), le très ancien, mais aussi le très complexe. Il n'est pas
33 impossible également que nous découvriions de nouvelles dimensions qui nous ouvriraient de
34 fantastiques champs d'observation. La théorie des cordes⁹ en physique fondamentale nous a
35 appris que nous ne connaissions peut-être pas toutes les dimensions du monde qui nous
36 environne.

37 *Perdu dans une botte de foin !*

38 Lorsque les phénomènes sont noyés dans un très grand nombre d'autres facteurs
39 interconnectés entre eux, comme c'est souvent le cas dans les Sciences Humaines et Sociales,
40 alors nous avons également du mal à les observer. Les probabilités sont alors un outil
41 fantastique pour faire surgir une aiguille d'une botte de foin. Imaginez un résultat dont nous
42 ne savons pas bien s'il est dû au hasard ou s'il s'agit d'un petit phénomène intéressant à
43 étudier. Dans ce cas, une seule expérience ne suffit pas. Si nous la reproduisons un grand
44 nombre de fois, alors la loi des « grands nombres » nous dit que plus le nombre d'expériences

⁹ Voir l'article sur la théorie des cordes in l'encyclopédie en ligne Wikipédia :
http://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_des_cordes

1 est grand, plus le résultat s'il est dû au hasard, doit se rapprocher des valeurs données par les
2 probabilités. Si ce n'est pas le cas, alors le phénomène est considéré comme « significatif ».

3
4 Prenez un dé par exemple : la probabilité pour qu'il tombe sur n'importe laquelle des faces en
5 le lançant est d'une chance sur six. Si en le lançant une fois il tombe effectivement sur un
6 trois, nous ne pouvons rien en déduire. Si la deuxième fois il tombe de nouveau sur un trois,
7 cela peut sembler étonnant mais nous ne pouvons toujours rien en déduire. Pour observer avec
8 un peu de rigueur, il faut nous concentrer non pas sur des résultats apparemment
9 spectaculaires mais plutôt lancer notre dé des centaines de fois. Si, après un grand nombre de
10 lancés, le trois est tombé un tout petit plus souvent qu'une fois sur six, alors nous pourrions en
11 déduire que le dé est légèrement pipé ou qu'un autre phénomène est entré en œuvre. Les
12 probabilités nous permettent même de savoir, en fonction du nombre de lancers, le nombre de
13 chances qu'il y a pour que ce résultat soit dû au hasard plutôt qu'à un phénomène particulier.
14 Lorsqu'il s'agit d'une chance sur dix mille, alors on ne parle pas de preuve scientifique mais
15 de présomption. Il faut seulement une chance sur cent mille ou même une chance sur un
16 million que le hasard nous ait joué un tour pour que l'on puisse parler de preuve scientifique.

17 *Peut-on tout observer ?*

18 Si nous voulons utiliser nos observations pour faire des probabilités nous aurons besoin de
19 nombres, ou plus précisément de mesures. Mais tout est-il mesurable ? Pour cela nous devons
20 regarder de plus près cette notion. La mesure d'une grandeur consiste à la comparer à un
21 étalon universel pour déterminer la proportion entre les deux. Des grandeurs sont donc non
22 mesurables lorsqu'il n'est pas possible de trouver un phénomène reproductible qui serve de
23 référence. C'est le cas par exemple de la confiance que vous pouvez avoir dans un
24 commerçant donné. Nous ne pouvons pas trouver d'étalon commun de confiance qui soit
25 valable pour vous et pour moi, qui puisse être utilisé pour définir très précisément le rapport
26 entre votre confiance dans le commerçant et cet étalon. La confiance n'est pas un phénomène
27 reproductible avec précision et votre échelle de confiance n'est pas forcément la même que la
28 mienne. Ainsi, les « évaluations » de la confiance que les autres acheteurs ont dans un
29 vendeur sur les sites Web de ventes aux enchères ne peuvent être que très approximatives
30 (négative, neutre ou positive). Nous reviendrons dans le chapitre suivant sur ces phénomènes
31 non mesurables. Ils limitent notre capacité à utiliser les résultats de nos observations. Si nous
32 ne pouvons pas tout mesurer, pouvons-nous au moins tout observer ? Cela est difficile à dire
33 car par définition nous ne connaissons pas ce qui est en dehors de notre champ d'observation
34 direct ou indirect. Une nouvelle fois, nous arrivons aux frontières de l'approche scientifique.

1

2 2^{ème} étape : chercher les qualités premières

3 **Observer, la première étape d'un long chemin**

4 Galilée distinguait les qualités primaires et les qualités secondaires. On parlerait aujourd'hui
5 plutôt de propriétés. Les qualités premières sont par exemple la solidité, la forme, l'étendue
6 ou le mouvement. Les qualités secondaires sont plus immédiates à nos sens : la couleur, le
7 goût... Ces dernières peuvent être différentes d'une personne à l'autre alors que les qualités
8 premières sont indiscutables comme l'a souligné John Locke, un philosophe empiriste du
9 XVII^{ème} siècle. Il considérait, comme certains de ses prédécesseurs, qu'aucune idée ne
10 préexiste à l'homme et donc que l'observation est le point de départ incontournable. A la
11 naissance, notre « âme » est comme une table rase (« Tabula rasa »), puis viennent des idées
12 sensorielles simples issues de nos observations. Ce n'est qu'à partir de là que peuvent se
13 former des « idées réflexives » construites uniquement à l'aide de notre raison. Pour
14 découvrir, il nous faut donc tout d'abord observer. Mais nous ne voyons que des
15 conséquences et non les lois de la nature qui les provoquent. Nous devons ajouter d'autres
16 étapes sur notre chemin vers la connaissance.

17 **L'induction pour aller plus loin que l'observation...**

18 Une observation attentive permet de découvrir des phénomènes nouveaux et parfois d'en faire
19 des « inductions ». L'induction consiste à prendre un phénomène et à considérer sa
20 généralisation comme vraie : « Depuis plusieurs jours j'observe que le Soleil se lève tous les
21 matins à l'Est ; donc le Soleil se lève toujours à l'Est ». Il ne s'agit pas d'une déduction
22 logique, tout au plus d'une hypothèse dont nous pourrions ensuite tester la validité. Si nous
23 disons par exemple « tous les trèfles que j'ai observés ont trois feuilles, donc tous les trèfles
24 ont toujours trois feuilles », notre induction nous a conduit à un résultat faux. De fait,
25 l'induction n'est pas là pour démontrer, elle sert à proposer une hypothèse à partir des
26 observations. Nous n'en sommes encore qu'au tout début de la démarche scientifique et nous
27 ne devons pas griller les étapes. Notre objectif ici n'est pas encore de démontrer que quelque
28 chose est vrai, mais plutôt de trouver une hypothèse intéressante qui puisse nous orienter vers
29 une loi plus générale à partir de l'observation de quelques cas particuliers.

30

31 Anaxagore, le premier philosophe s'étant installé à Athènes, observa la composition de
32 météorites tombées du ciel. Il en déduisit que les astres sont formés des mêmes substances
33 que la terre et que la vie peut très bien exister ailleurs. Il fut cependant rejeté pour athéisme.
34 Plus tard, Galilée découvrit que quatre lunes tournent autour de Jupiter. Jusqu'à présent, parce
35 que les corps observés semblaient tous tourner autour de la Terre, on considérait que TOUS
36 les corps devaient tourner autour de la Terre. L'observation de Galilée remettait en cause cette
37 induction. Si des lunes ont la mauvaise idée de tourner autour de Jupiter, cela veut dire que
38 tout ne tourne pas autour de la terre. Il devient alors possible de penser que contrairement aux
39 apparences, les planètes ne tournent pas autour de la Terre mais d'un autre point, par exemple
40 le Soleil, comme l'affirmait un siècle plus tôt Nicolas Copernic...

41 **...Mais comment aller plus loin que l'induction ?**

42 Nous limiter à observer et faire des inductions n'est pas suffisant¹⁰ et ne nous permet pas de
43 sortir de la « croyance » pour faire de la science. Bertrand Russell parle même du « scandale

¹⁰ François Elie, *Epistémologie et histoire des sciences*, cours, 1995

1 de l'induction » et illustre très joliment les dangers de généraliser trop vite¹¹ : un poulet attend
2 le paysan qui lui apporte ses graines. Chaque jour le paysan revient et le poulet est content.
3 Un jour, le paysan vient ... et lui tord le cou pour le servir en plat principal...

4
5 David Hume, un autre philosophe empiriste anglais du XVII^{ème} siècle a lui aussi mené une
6 enquête. Il s'est intéressé à l'entendement humain¹². Il a remarqué que l'induction vient de la
7 répétition de l'observation de cas semblables. Elle est dépourvue de validité logique. « La
8 première fois qu'un homme vit le mouvement se communiquer par impulsion, par exemple
9 par le choc de deux billes de billard, il ne put affirmer que l'un des événements était en
10 connexion avec l'autre, il affirma seulement qu'il y avait conjonction. Une fois qu'il eut
11 observé plusieurs cas de cette nature, alors il affirma que les faits étaient en *connexion*. Quel
12 changement s'est produit qui engendre cette nouvelle idée de connexion ? Rien, sinon que
13 maintenant cet homme *sent* que ces événements sont en *connexion* dans son imagination et
14 qu'il peut aisément prédire l'existence de l'un de l'apparition de l'autre. ». Mais pour Karl
15 Popper, si l'induction est une « croyance fondée sur l'habitude », il considère que Hume n'est
16 pas allé jusqu'au bout¹³. Il n'a pas envisagé le cas où nous acquérons de la connaissance par
17 une méthode non inductive.

18
19 Gottfried Wilhelm Leibnitz explique qu'une induction ne permet pas de vérifier une loi
20 universelle car toutes les expériences n'ont pas été faites. Il va donc nous falloir ajouter une
21 nouvelle étape dans notre parcours scientifique. Finalement, l'observation ne sert
22 principalement qu'à réfuter la théorie précédente : si j'observe un trèfle à quatre feuilles,
23 alors ma loi « tous les trèfles ont toujours trois feuilles » est fausse.

24 **Explorons les autres pièces de la maison de la science**

25 Nous avons visité la première pièce de la maison de la Science, celle du rez-de-chaussée
26 nommée « Observation ». Par l'unique fenêtre, nous avons pu observer le monde. Bien sûr
27 nous n'avons pas une vue de « tout » le monde, mais sans nous en rendre vraiment compte
28 nous sommes passés dans une autre pièce à l'étage supérieur. Nous avons cherché à
29 généraliser dès que nous avons pu voir un phénomène se répéter à l'aide du mécanisme
30 « d'induction ». Nous n'avons pas une loi universelle pour autant puisqu'en observant nous
31 pouvons juste trouver quelque chose qui existe. Au mieux nous sortons de ces deux premières
32 pièces avec un exemple observé qui nous montre que la loi précédente à laquelle nous
33 croyions ne s'applique pas tout le temps... et quelques idées sur les cas de figure où un
34 phénomène semble se répéter.

35
36 Suivez-moi, nous allons maintenant nous diriger vers une nouvelle pièce de la maison de la
37 Science. Nous devons pour cela grimper encore d'un étage grâce à un escalier en colimaçon.
38 Nous arrivons devant une porte où est inscrit : « Hypothèse ». Poussons-la et entrons.

¹¹ Bertrand Russell, *Problèmes de philosophie* (1912) Chapitre 6

¹² David Hume, *Enquête sur l'entendement humain* (1748)

¹³ Karl Popper, *Conjectures and réfutations*, London, Routledge & Kegan Paul, 1963 - traduit de l'anglais par M. B. De Launay & M-I. De Launay, *Conjectures et réfutations*, Paris, Payot, 1985

1

2 **3^{ème} étape : imaginer des hypothèses**

3 La pièce dispose également d'une seule fenêtre, mais le paysage est tout différent de ce que
4 nous avons vu auparavant. Sans doute la pièce est-elle orientée différemment de celle du bas,
5 nous devons regarder le monde suivant une autre direction. Cette fois nous n'allons pas
6 chercher simplement à généraliser des observations : le soleil se lève tous les matins. Nous
7 allons chercher une hypothèse qui puisse les expliquer : le soleil se lève tous les matins parce
8 qu'il tourne autour de la Terre, parce que la Terre tourne sur elle-même donnant l'impression
9 que le Soleil se déplace dans le ciel, ou bien encore parce qu'Apollon le transporte chaque
10 jour sur son Char. A cette étape de la démarche scientifique, nous pouvons trouver n'importe
11 quelle explication du moment que celle-ci peut expliquer ce que nous voyons.

12

13 Regardons bien où nous en sommes. Nous avons observé un phénomène. Nous avons
14 remarqué que dans certaines conditions il se reproduit régulièrement. Nous pensons - peut être
15 à tort - qu'il s'agit d'une vérité universelle (par induction). Et nous cherchons maintenant
16 toutes les hypothèses possibles qui pourraient expliquer que, dans ces conditions, le
17 phénomène se reproduira à chaque fois.

18 **Comment les mythes expliquent le monde**

19 L'idée d'un char conduit par un Dieu permet effectivement d'expliquer pourquoi le Soleil se
20 déplace d'un bout à l'autre de l'horizon. Mais nous ne pouvons pas savoir à ce stade s'il s'agit
21 de « La » bonne explication. Toute la période mythique de l'humanité a consisté à trouver des
22 explications derrière les phénomènes observés. En ces temps là, agir consciemment pour
23 obtenir de la connaissance se limitait aux trois premières étapes : observer, généraliser et
24 expliquer en formulant une hypothèse ou en énonçant un acte de foi !

25

26 Cette approche est cependant la même que celle que nous utilisons aujourd'hui dans la
27 démarche scientifique. Nous cherchons à imaginer une hypothèse qui puisse expliquer nos
28 observations. En général nous ne nous arrêtons pas là. Cependant, trop souvent encore nous
29 « tombons dans le panneau » des mythes, nous considérons qu'une hypothèse est vraie parce
30 qu'elle permet d'expliquer de façon cohérente ce que nous observons... Ou bien nous
31 considérons qu'elle est fautive par ce que l'explication ne nous plaît pas ou nous semble trop
32 différente de ce que notre culture nous porte à croire. Nous tombons alors dans la « discussion
33 de comptoir » : les arguments pour démontrer que l'hypothèse proposée est la bonne sont
34 totalement irrationnels. Mais si notre but était simplement de nous rassurer face à l'inconnu
35 alors il nous suffit de croire la première hypothèse qui nous convient et nous voilà tiré
36 d'affaire. Les mythes servent entre autre à nous rassurer et à éviter de nous poser plus de
37 questions.

38

39 Si au contraire nous voulons partir à la poursuite de la Vérité, alors nous ne pouvons pas nous
40 contenter d'une hypothèse. Nous devons continuer notre chemin et parcourir toutes les autres
41 pièces de la maison de la science avant de pouvoir nous prononcer... et être rassurés. Si
42 l'hypothèse que nous vérifions n'est pas la bonne, il nous faudra en utiliser une nouvelle.
43 Heureusement, le réservoir à idées semble inépuisable.

44 **L'abduction**

45 Comment passer de nos observations et nos inductions à une ou plusieurs hypothèses
46 explicatives ? Nous allons pour cela utiliser une nouvelle façon de réfléchir : l'abduction.
47 Cette fois il ne s'agit pas simplement de généraliser ce que l'on observe comme dans le cas de

1 l'induction, mais nous allons faire un pari... Nous allons proposer une explication à un
2 phénomène étonnant en cherchant à « remonter » à une cause possible. Pour cela, nous allons
3 utiliser non plus une mais deux affirmations - ou pour être plus précis nous devrions dire
4 « deux propositions ».

5
6 La première proposition est une Loi considérée comme certaine. Par exemple :

7 1) « *Si on se place sur une sphère en rotation, alors les objets fixes autour de cette*
8 *sphère semblent tourner autour de la sphère* »

9 Ajoutons-y une deuxième proposition issue d'un phénomène observé étonnant que nous
10 cherchons à expliquer :

11 2) « *Le Soleil semble tourner dans le ciel autour de la Terre* »

12 Comme nous considérons la Terre comme une sphère ronde, nous allons pouvoir tirer une
13 hypothèse de ces deux propositions :

14 3) « *Le Soleil est fixe et la Terre tourne sur elle même* »

15
16 Regardons de plus près ce raisonnement. S'il s'était agit d'une déduction, nous aurions
17 comme point de départ les phrases 3 et 1 : « Le Soleil est fixe et la Terre tourne sur elle
18 même » et « Si on place sur une sphère en rotation, alors les objets fixes autour de cette
19 sphère semblent tourner autour de la sphère ». De ces deux phrases nous aurions pu en tirer
20 comme conclusion « Le Soleil doit sembler tourner dans le ciel ». Nous aurions alors levé les
21 yeux et pu vérifier que c'était bien le cas.

22
23 Dans le cas de l'abduction, au contraire, nous cherchons à remonter à la cause. Nous partons
24 cette fois du fait que le Soleil semble tourner dans le ciel (phrase 2) et nous cherchons une Loi
25 qui donnerait ce résultat (phrase 1) pour proposer une cause possible (phrase 3). Bien sûr,
26 contrairement à la déduction, le résultat n'est pas sûr : il ne s'agit que d'une des causes
27 possibles de ce que nous observons. Nous aurions pu faire une abduction qui nous propose
28 d'autres causes : « le Soleil tourne autour de la Terre » ou bien encore « Le Soleil est tiré par le
29 char d'un Dieu ». Notre chemin n'est donc pas terminé et il nous restera à montrer que cette
30 hypothèse est bien la bonne. Nous sommes passés dans notre maison de la Science du rez-de-
31 chaussée au dernier étage. Il nous reste, maintenant que nous tenons une idée, à redescendre
32 avec elle les escaliers pour la mettre de nouveau à l'épreuve de l'observation. Le philosophe
33 pragmatique américain Charles Pierce a redécouvert l'abduction en 1866 : « L'abduction est le
34 processus de l'imagination d'une hypothèse explicative. C'est la seule opération logique qui
35 introduit un idée neuve quelconque ».

36
37 Aristote avait déjà distingué ces différentes formes de raisonnement :

- 38 • L'induction : à force d'observer le même phénomène, nous généralisons et nous
39 considérons qu'il est tout le temps vrai.
- 40 • L'abduction (aussi appelée rétroduction) : nous considérons ce phénomène comme une
41 conséquence et nous recherchons ce qui a bien pu le provoquer (en fait nous recherchons
42 un autre phénomène hypothétique et une Loi qui, si elle lui était appliquée, donnerait
43 comme résultat ce que nous observons).
- 44 • La déduction : Après être remontés à la cause, nous redescendons. En appliquant une Loi
45 à une cause, nous pouvons en déduire l'effet produit que nous chercherons alors à
46 observer.

47 L'analogie combine à la fois l'induction et l'abduction. Nous avons fait appel à elle plusieurs
48 fois déjà pour notre enquête. Elle ne nous donne pas une preuve, mais nous permet de flairer
49 de nouvelles pistes...

50 **Encadré 4 - Au début était... quoi ?**

1 La science cherche pour chaque phénomène à trouver une cause. Mais cette cause elle-même
2 a-t-elle une cause ? Kepler montre comment les planètes tournent autour du Soleil en formant
3 des ellipses, Newton montre comment la force d'attraction universelle entre les corps massifs
4 permet ces trajectoires, Einstein montre comment les déformations de l'espace lui-même par
5 les corps massifs provoquent ces rapprochements entre les corps, et nous cherchons
6 aujourd'hui à savoir ce qui cause l'émergence de cette propriété qui déforme l'espace et que
7 nous appelons la masse. Mais qu'y a-t-il au début ? Quel est le « premier moteur » comme
8 dirait Aristote ?

9
10 Sur ce point, deux grandes thèses s'affrontent. Certains à la suite de Platon considèrent que la
11 vérité première est à trouver dans le monde des idées (ou encore le monde des essences) qui
12 créent le monde sensible. Pour cela nous les nommons « idéalistes ». D'autres au contraire
13 considèrent que toutes les causes sont matérielles. Leibniz inventa le terme de
14 « matérialisme » pour ce courant, mais ces idées existaient bien avant chez les Grecs depuis
15 Démocrite. On parle également de « mécanisme ». Les naturalistes vont plus loin et ne
16 reconnaissent pas d'autres réalités que la nature et le monde sensible. Il n'y a donc pas besoin
17 de créateur. Pour eux, considérer que derrière le monde sensible que nous observons se trouve
18 un monde d'essence primordial repose sur « un vice logique de la pensée ». Cette idée s'est
19 fortement développée au XIX^{ème} siècle à partir des travaux de Marx, Darwin et Freud ; mais
20 elle existait chez les Grecs anciens avec par exemple, Epicure ou Lucrèce. C'est sur ce point
21 que se concentrent les débats entre la religion, la philosophie et la science¹⁴.

22 **Trouver des idées**

23 *Petite méthode pour trouver des idées*

24 A défaut de savoir ce que nous trouverons au bout du chemin... s'il en existe un, notre
25 question pour l'instant est de franchir un pas de plus dans les étapes qui nous permettent de
26 progresser scientifiquement dans notre recherche de la connaissance. Pour cela, nous devons
27 trouver des hypothèses audacieuses qui nous permettent de donner une explication si possible
28 simple des phénomènes observés. Nous pouvons utiliser pour cela notre propre expérience qui
29 nous donne des points de comparaison avec ce que nous avons déjà vécu ; ou bien le
30 raisonnement, qui permet de constituer un enchaînement logique d'idées ; ou bien encore
31 l'intuition. Toutes ces approches consistent plus ou moins à associer des idées pour en trouver
32 de nouvelles en utilisant comme nous l'avons vu l'induction et l'abduction. Pour David
33 Hume les idées ne sont que des souvenirs attachés à des impressions. Il ne les considère pas
34 comme autonomes, au contraire des idéalistes. Mais si les idées sont toujours basées sur une
35 impression vécue, l'association des idées peut créer des idées fausses. Le concept d'un cheval
36 ailé comme Pégase par exemple est l'association de l'idée du cheval et de celle des ailes.

37
38 L'association d'idées n'est donc pas un gage de vérité. Mais elle peut être extrêmement
39 féconde pour trouver des liens que nous n'avions pas encore vus entre deux choses comme
40 l'ont remarqué par exemple Aristote ou Saint Thomas d'Aquin. La légende raconte que c'est
41 en voyant tomber une pomme que Newton comprit que la mécanique des choses de la terre et
42 celles des objets célestes était la même. Pourtant, tout semblait les différencier : les objets sur
43 la terre se déplacent naturellement en ligne droite (par exemple lorsqu'ils tombent) alors que
44 les astres semblent préférer tourner. En associant ces deux mécaniques jusqu'alors séparées,
45 Newton put comprendre que la Lune par exemple ne fait que tomber vers la Terre qui l'attire.

¹⁴ Voir en particulier Paul-Antoine Miquel, *Comment penser le désordre ? Réconcilier la science et la philosophie*, Librairie Arthème Fayard, 2000

1 Mais du fait de sa vitesse perpendiculaire à la terre, notre satellite ne tombe pas droit sur nous
2 et l'association des deux mouvements créé cette orbite circulaire.

3 ***Lorsque la science devient un Art***

4 L'intuition, nous pourrions dire l'inspiration, est un des outils fondamentaux du scientifique.
5 Cela explique les liens étroits que la science et les arts ont tissés par le passé. Léonard de
6 Vinci a ainsi excellé dans la peinture comme dans les découvertes. Tout comme les Arts, la
7 science nécessite d'allier l'inspiration et la maîtrise des outils. Si le musicien doit sans cesse
8 faire des gammes, le scientifique doit continuellement parfaire sa rigueur et ses connaissances
9 des autres travaux. Cependant il n'est pas nécessaire d'être sculpteur pour apprécier une
10 sculpture. De même, il est possible d'apprécier l'avancée des connaissances scientifiques sans
11 comprendre toutes les finesses mathématiques. Il est même possible qu'une nouvelle vision
12 plus juste du monde sorte de l'inspiration d'un néophyte en matière d'expérimentation et de
13 mathématiques. Cependant, pour être validée, cette hypothèse devra parcourir toutes les autres
14 étapes de la démarche scientifique. Notre néophyte devra alors convaincre des spécialistes de
15 travailler à partir de sa propre intuition plutôt que de la leur, et comme nous l'avons vu, ce
16 n'est pas une chose aisée !

17 **Choisir parmi les idées**

18 ***Quand Occam donne un coup de rasoir***

19 L'important pourtant à cette étape, n'est pas de trouver la bonne solution dès maintenant mais
20 plutôt d'avoir des hypothèses qui puissent être suffisamment crédibles pour mériter de passer
21 du temps à les vérifier. Comme nous voulons économiser nos efforts dans la phase de
22 validation qui va suivre, nous avons tendance à limiter nos hypothèses aux plus crédibles. Un
23 des moyens de sélectionner les hypothèses les plus prometteuses est de choisir... les plus
24 simples. Cette méthode porte le nom de « rasoir d'Occam ».

25
26 Guillaume d'Occam (ou d'Ockham) était un franciscain anglais vivant au XIV^{ème} siècle. Il
27 proposa un principe de base « *Pluralitas non est ponenda sine neccesitate* » (les entités ne
28 doivent pas être multipliées inutilement). Cela peut se traduire pour le scientifique de la façon
29 suivante : entre deux hypothèses concurrentes qui donnent les mêmes conséquences, celle qui
30 introduit le moins d'éléments supplémentaires est la meilleure. Les coups de rasoir qui
31 suppriment les éléments non nécessaires et non observables ont été un moyen puissant de
32 choisir, entre deux visions du monde, celle qui est la mieux adaptée. Ils ont taillé en pièce de
33 nombreux mythes.

34
35 Ce principe du rasoir d'Occam doit cependant rester un outil dédié à l'étape de la formulation
36 des hypothèses. Il ne faut pas aller aussi loin qu'Aristote, qui proposait un principe
37 équivalent : « La nature fonctionne de la plus courte façon possible ». Il en déduisit que ce
38 simple principe était suffisant pour démontrer une théorie. Il faut toujours manier le rasoir
39 avec précaution. Si la nature semble choisir la solution la plus simple, elle est également
40 pleine de pièges en trompe-l'œil. L'hypothèse de la terre au centre avec tous les corps célestes
41 effectuant des cercles autour semblait plus simple que notre vision d'aujourd'hui, mais les
42 deux hypothèses ne sont pas équivalentes et il est parfois plus simple de changer notre point
43 de vue pour regarder les trajectoires depuis le Soleil, le centre de la Galaxie ou encore le
44 centre de l'amas de galaxie...

1 *Simple is beautiful*¹⁵

2 Le plus étonnant dans l'affaire de l'héliocentrisme, est que les deux points de vue avaient
3 raison ! Il n'y a pas de point fixe dans le ciel. Aussi, pouvons-nous donc calculer la trajectoire
4 des planètes depuis n'importe quel point de l'espace. Mais lorsque nous le faisons comme
5 Copernic et Kepler, depuis le soleil, nous obtenons des équations bien plus simples. Nous
6 n'avons plus besoin d'ajouter des épicycles pour affiner sans fin les trajectoires. Deux
7 hypothèses peuvent être équivalentes, mais la plus simple, celle choisie par le rasoir d'Occam,
8 présente deux avantages. D'un côté elle permet de rendre plus facile la transmission du savoir,
9 ce qui est un élément important dans la science pour qu'elle ne reste pas seulement aux mains
10 de quelques initiés. Mais un point de vue simple permet également de préparer le cycle
11 suivant dans la démarche scientifique : il rend plus facile la compréhension des actions à
12 l'œuvre. Ainsi Isaac Newton put utiliser les équations de Kepler pour proposer une nouvelle
13 hypothèse permettant d'aller un pas plus loin sur le chemin de la connaissance : les corps
14 célestes s'attirent proportionnellement à leur masse et de façon inversement proportionnelle
15 au carré de leur distance. Il découvrit ainsi l'attraction universelle, une des forces
16 fondamentales de la nature, celle que nous appelons la gravitation. Le point de vue de Newton
17 permit donc de trouver une explication aux trajectoires des planètes. Mais chaque fois que
18 nous parcourons le chemin proposé par la méthode scientifique, de nouvelles difficultés
19 apparaissent. Les scientifiques continentaux reprochèrent à la théorie de Newton d'introduire
20 une action à distance qui semblait une hypothèse bien trop incroyable. Mais si le savant
21 anglais avait ajouté une étape après celle de Kepler sur le chemin de la compréhension de la
22 mécanique céleste, il ne chercha pas à brûler toutes les étapes. Il s'arrêta là et affirma
23 « *hypotheses non fingo* », ce qui signifie « je n'avance pas d'hypothèse » ou plutôt quelque
24 chose comme « je ne fais pas un autre pas en avant, celui que j'ai fait me suffit, à vous de
25 continuer ». Ainsi la science avance par étapes successives. Chacune nécessite de passer par
26 toutes les étapes que nous décrivons. Mais plus l'hypothèse sera simple et plus il sera facile
27 de partir de cette base pour proposer des hypothèses suivantes.

28
29 Il est temps maintenant de sortir de la pièce aux hypothèses et de continuer notre chemin dans
30 la maison de la Science. A un angle de la pièce se trouve une porte. Nous la prenons et
31 arrivons dans une nouvelle pièce, située au même étage. L'unique fenêtre semble orientée
32 d'un côté encore différent de ceux des premières pièces. Le paysage, par la fenêtre, est une
33 nouvelle fois transformé. Nous sommes dans la pièce de la modélisation...

¹⁵ Une traduction approximative pourrait donner : « plus c'est simple, plus c'est beau ! »

1

2 4^{ème} étape : trouver la loi derrière l'effet

3 Il nous faut aller plus loin encore...

4 *Prouve moi que c'est vrai ! - prouve moi que c'est faux !*

5 Nous énonçons souvent ce que l'on appelle des « propositions décidables ». Si nous
6 observons un chat, nous pouvons énoncer : « ce chat est roux ». Nous pouvons déterminer si
7 cet énoncé est vrai ou faux. Mais Aristote distingue d'autres types de propositions où il n'est
8 pas si facile de savoir si elles sont vraies ou fausses : les propositions universelles (« la nuit,
9 tous les chats sont gris ») et des propositions particulières (« Il existe des chat roux »). Les
10 propositions universelles pourraient commencer par « quelque soit... » alors que l'on pourrait
11 commencer les phrases par « il existe » dans les propositions particulières (ou existentielles
12 comme on les appelle en logique formelle¹⁶).

13

14 Prenons un clapier avec une centaine de lapins. Nous voulons savoir s'il existe parmi eux un
15 lapin bleu. Il nous suffit d'examiner chaque animal et nous pouvons ensuite conclure que
16 moyennant certaines hypothèses (les lapins ne changent pas de couleur lorsque j'ai le dos
17 tourné...), nous n'avons pas trouvé de lapin bleu.

18

19 Imaginons maintenant que nous ne nous limitons plus aux lapins d'un clapier mais que nous
20 cherchions à énoncer quelque chose sur l'ensemble de la population des lapins. La différence
21 est qu'il nous est impossible d'observer TOUS les lapins ! Même si nous essayons de le faire,
22 nous ne pouvons jamais être certain de ne pas en avoir manqué un...

23 C'est ici qu'entrent en scène nos deux nouvelles formes :

- 24 • Si nous disons « quel que soit le lapin que j'observerai, il aura une queue », je peux
25 infirmer cette proposition le jour où je trouve un lapin sans queue, mais je ne peux pas
26 confirmer scientifiquement cette proposition car je ne peux pas contrôler la queue de tous
27 les lapins du monde sans être sûr de ne pas en manquer un... Il est donc possible de
28 prouver qu'une proposition universelle (« quel que soit... ») est fausse mais il n'est pas
29 possible de prouver qu'elle est vraie.
- 30 • A l'inverse, si nous disons « Il existe un lapin bleu », je peux prouver qu'il existe un lapin
31 bleu le jour où j'en découvre un, mais je ne peux pas prouver qu'il n'en existe pas si je
32 n'en vois pas. Il est possible de démontrer qu'une proposition particulière (« il existe... »)
33 est vraie mais je ne sais pas démontrer qu'elle est fausse.

34 Nous avons déjà rencontré cette difficulté lorsque nous avons cherché à savoir ce que valait le
35 channelling prôné par le New Age. Nous sommes au cœur de la différence entre la science et
36 ... la discussion de comptoir. Comment décider lorsque les propositions sont... indécidables ?
37 Dans nos discussions c'est souvent l'argument d'autorité qui fait foi. Parfois même nous
38 faisons des inductions et des abductions en croyant faire des déductions (comme Monsieur
39 Jourdain faisait de la prose sans le savoir dans « *Le bourgeois gentilhomme* » de Molière).

40 *Les limites de nos discussions*

41 Penchons-nous par la fenêtre de la pièce de la modélisation que nous explorons actuellement
42 dans la maison de la science. Dehors nous percevons des bribes de discussion parmi les
43 passants :

¹⁶ Jean-Yves Girard, *Le champ du signe ou la faillite du réductionnisme*, in *Le théorème de Gödel*, Paris, éditions du Seuil 1989

- 1 • « Je te le dis, ce nouveau régime minceur marche à tous les coups »
2 • « J'ai vu Arlette hier, elle a attrapé la grippe »
3 • « Moi j'en suis convaincu, les extraterrestres existent ! »
4 A votre avis parmi ces remarques, laquelle ne peut pas être démontrée comme vraie car il
5 s'agit d'une proposition universelle, laquelle ne peut pas être démontrée comme fausse car il
6 s'agit d'une proposition particulière et laquelle peut être prouvée vraie ou fausse car il s'agit
7 d'une proposition décidable ?
8

9 Un peu plus loin, deux hommes discutent en marchant :

- 10 • « J'ai pris un maçon portugais. Je te le confirme, ce sont des gens travailleurs. C'est
11 vraiment dans leur culture »

12 Cette nouvelle bribe de discussion nous montre le passage de ce que l'on peut observer (c'est
13 à dire d'une proposition décidable : le maçon portugais embauché est travailleur) à une
14 généralisation par induction pour former une théorie (c'est-à-dire une proposition universelle :
15 tous les maçons portugais sont travailleurs) pour enfin aboutir par abduction à une hypothèse
16 d'explication de cette théorie (cela est dû à la culture portugaise). Le plus souvent, nous nous
17 arrêtons là dans nos démonstrations et nous avons l'impression d'avoir utilisé notre rationalité
18 pour démontrer une vérité. La personne qui parle a simplement fait une généralisation qui
19 n'est pas forcément vraie (il peut peut-être exister des maçons portugais fainéants) et trouvé
20 une hypothèse parmi d'autres qui pourrait expliquer cette loi universelle (mais on pourrait
21 suggérer aussi une cause génétique, une nécessité pour faire vivre sa famille, etc.). Le plus
22 amusant est qu'en s'arrêtant à ce stade, nous n'avons fait encore aucune déduction. Nous nous
23 arrêtons au même stade que la démarche mythique : trouver une hypothèse explicative pour
24 une loi universelle dont nous pensons avoir démontré la véracité en observant quelques fois le
25 même phénomène.

26 *C'est vrai ou c'est faux ? ... Je n'en sais rien, c'est une hypothèse.*

27 On raconte cette petite histoire qui illustre bien ce point. Elle concerne Niels Bohr, le célèbre
28 prix Nobel de physique danois, qui a proposé un modèle de la structure de l'atome. Un jour
29 un ami lui rend visite et s'étonne de voir sur le manteau de la cheminée un fer à cheval.
30 « Niels, tu ne crois tout de même pas à ces choses-là ? ». Le physicien répondit : « non bien
31 sûr, mais personne ne m'a démontré que ça ne fonctionne pas et il paraît que ça marche
32 même si on n'y croit pas ».

33 **De la logique de la philosophie à la modélisation mathématique en science**

34 Continuons notre investigation des rouages de la démarche scientifique. Après avoir observé
35 le monde et formulé des hypothèses, nous allons proposer un énoncé pour une des lois de la
36 Nature sous une forme qui nous permettra de la vérifier. Pour cela nous allons utiliser notre
37 raison pour construire un discours logique. C'est ici que se rejoignent les approches
38 philosophiques et scientifiques. La logique a été fondée par Aristote lui-même. La grande
39 différence vient surtout du langage employé. Si les philosophes utilisent les langues
40 naturelles, les scientifiques préfèrent les mathématiques qui sont particulièrement adaptées
41 pour décrire des déductions logiques. Platon considérait que la raison est éternelle et
42 universelle. Il estimait que ces propriétés étaient aussi celles des mathématiques. C'est
43 également le cas pour René Descartes qui cherchait une méthode fiable de raisonnement pour
44 la philosophie qui serait proche des mathématiques. Mais pourquoi le langage mathématique
45 est-il si utile aux scientifiques ? Bien sûr, il est moins ambigu que notre langage courant. Mais
46 nous aurions pu décrire les lois scientifiques avec un langage plus strict comme Descartes
47 souhaitait le faire pour la philosophie. Pourquoi alors les scientifiques ont-ils choisi des
48 équations plutôt que des mots ?

1 ***Les mathématiques forment un bon outil de divination...***

2 Les nombres permettent d'obtenir une grande précision dans les prévisions. C'est par le calcul
3 que les anciens ont pu calculer les cycles des astres et établir des calendriers d'une précision
4 parfois stupéfiante. Les mathématiques sont un outil abstrait qui permet d'établir un modèle
5 mais aussi de prédire quel sera le résultat d'un calcul¹⁷. Un, deux ou plusieurs des nombres
6 d'un calcul sont remplacés par des « variables ». Nous ne savons plus alors calculer le résultat
7 général sous la forme d'un nombre. Mais nous pouvons regarder comment les résultats varient
8 lorsque l'on donne différentes valeurs aux variables. Ces calculs abstraits dont les résultats
9 varient en fonction de variables s'appellent des fonctions. Une des variables très souvent
10 utilisée en mathématique est le temps. Ainsi, si nous trouvons la fonction qui décrit la
11 trajectoire d'un objet par exemple, il suffira de fixer la variable temps à n'importe quelle
12 valeur pour voir quelle sera la position du corps à n'importe quel moment : non seulement au
13 moment présent mais également pour n'importe quelle valeur du passé ou du futur ! La loi
14 décrivant cette trajectoire (ou tout autre chose) nous ouvre les portes de la prévision. Les trois
15 lois établies par Kepler pour la trajectoire des astres sont ainsi des objets mathématiques. Il
16 suffit de connaître les positions et vitesses à un moment donné - par exemple au moment
17 présent - pour être capable de trouver la position de ces astres à n'importe quel moment du
18 passé ou du futur. La loi de l'attraction universelle de Newton permet de résumer à elle seule
19 ces trois lois et permet même d'expliquer des phénomènes supplémentaires qui n'étaient pas
20 pris en compte par Kepler, comme par exemple les marées.

21 **Mais les mathématiques ne font pas tout**

22 ***La tour de Babel est de retour***

23 Peut-être l'avez-vous remarqué ? Depuis quelques paragraphes, je ne vous parle que « des
24 mathématiques » et non « de la mathématique ». En effet, il existe plusieurs façons de
25 représenter des lois de la nature. Certaines sont mieux adaptées à tel cas de figure, et d'autres
26 sont plus simples si elles sont décrites avec tel autre formalisme. Nous disposons de
27 nombreuses formes de mathématiques : des algèbres, des analyses, des théories de groupes,
28 etc. Cela peut poser parfois des problèmes car il n'est pas toujours si simple de passer d'un
29 point de vue à l'autre. Au début du XX^{ème} siècle, les scientifiques ont travaillé sur les lois de
30 la mécanique quantique, cette science qui cherche à étendre la mécanique newtonienne à des
31 domaines nouveaux comme par exemple le monde minuscule des atomes et des particules
32 élémentaires. Dirac avait choisi une forme de mathématiques appelée « *l'algèbre des*
33 *matrices* ». Schrödinger pour sa part, utilisa les « *équations de champs* ». Il fallut de
34 nombreux efforts et des critiques acérées de part et d'autre avant de pouvoir constater que les
35 deux théories étaient équivalentes !

36
37 La tour de Babel continue. Actuellement, les physiciens cherchent à réconcilier cette même
38 mécanique quantique, en particulier la physique des particules avec la relativité générale
39 d'Einstein. Ils rencontrent des problèmes plus fondamentaux qu'une simple traduction dans
40 différents langages mathématiques, mais les points de vue apportés par les langages utilisés ne
41 facilitent pas la tâche. Tout se passe comme si on essayait de réconcilier la vue de la façade de
42 la maison au Nord et celle du jardin au Sud. Les scientifiques travaillent dur pour imaginer
43 une vue aérienne qui permettrait de s'y retrouver.

¹⁷ Jean-Yves Girard, *Le champ du signe ou la faillite du réductionnisme*, in *Le théorème de Gödel*, Paris, éditions du Seuil 1989

1 ***Les mathématiques ne sont pas toujours rigoureuses***

2 Contrairement à ce que l'on pense en général, les mathématiques usuelles ne sont pas d'une
3 précision absolue. Lorsque nous les utilisons pour démontrer quelque chose nous créons ce
4 que l'on appelle un théorème. Sa démonstration fait appel à une suite logique alternant des
5 formules et des expressions du langage telles que « si ... alors », « quel que soit » ou « il
6 existe ». Mais nous appuyons le plus souvent nos démonstrations sur d'autres éléments qui ne
7 sont pas toujours prouvés... même si nous ne nous en rendons pas toujours compte. Pour être
8 totalement rigoureuses, les mathématiques doivent ne s'appuyer que sur des postulats. Il s'agit
9 de quelques règles de départ que l'on considère comme vraies et qui ne sont donc pas
10 démontrées. Si nous admettons que ces postulats sont vrais alors nous pouvons en déduire de
11 façon sûre un ensemble de théorèmes grâce à la logique. Les mathématiques formelles ne font
12 aucune concession à l'imprécision. Pour elles, tout doit être déduit, avec la plus grande
13 rigueur, uniquement des quelques postulats de départ. Du coup le formalisme est beaucoup
14 plus lourd que dans les mathématiques usuelles et les mathématiques formelles ne sont
15 utilisées que dans des cas particuliers, comme par exemple pour chercher à démontrer si les
16 mathématiques elles-mêmes sont complètes...

17 **Le réductionnisme**

18 ***Les lois sont partielles***

19 Si nous avons autant de langages mathématiques différents, cela veut dire que nous n'en
20 sommes pas encore aux lois primordiales de la Nature, loin de là ! Nous avançons sur
21 plusieurs fronts en même temps comme une marguerite que nous observerions en partant de
22 l'extérieur de plusieurs pétales pour espérer un jour nous retrouver en son cœur. Lorsque nous
23 étudions la Nature, nous ne pouvons donc pas tout englober. L'astuce consiste à ne traiter
24 qu'un petit morceau. Cette façon de faire s'appelle le réductionnisme, elle fait partie de la
25 méthode proposée par René Descartes pour comprendre le monde. Nous espérons ensuite que
26 la somme de nos connaissances nous apportera une connaissance du tout.

27 ***Le modèle réduit prend son envol***

28 Il ne s'agit pas seulement de porter notre regard sur un constituant plus petit, mais souvent
29 également de n'étudier que certaines propriétés. Dans le cas de l'observation, pour ne pas être
30 noyés par les autres paramètres, nous avons vu précédemment que nous cherchions à réaliser
31 des expérimentations qui mettent en valeur la propriété à étudier et que nous effectuions des
32 calculs de probabilités pour la faire ressortir de toutes nos mesures. Pour ce qui est de la
33 recherche des lois de la Nature, il en va de même. A défaut de pouvoir trouver des lois
34 primordiales sans parcourir le long chemin de la connaissance scientifique, nous recherchons
35 des lois intermédiaires qui portent sur quelques paramètres seulement. C'est ici
36 qu'interviennent les « modèles ». Ce sont des objets dépouillés de tout ce qui ne concerne pas
37 les propriétés étudiées. Toute l'astuce consiste à sélectionner les bons éléments à inclure dans
38 le modèle : trop de paramètres et il devient trop compliqué à traiter, pas assez et le modèle
39 aura plus de mal à coller à la réalité observée car nous ne pourrions plus comprendre l'action
40 des parties oubliées. Peut-être même certains phénomènes complexes ne peuvent être réduits à
41 un modèle.

42 **Encadré 5 - Exemple : à la recherche des particules**

43 L'étude des constituants de la matière au XXème siècle est un bon exemple de
44 réductionnisme. Nous avons tout d'abord cherché à comprendre les atomes, nous avons
45 ensuite prolongé leur étude dans celle de leurs constituants : le noyau et les électrons. Le
46 noyau lui-même a été décomposé en divers « nucléons », les particules qui le composent. Ces

1 particules elles-mêmes sont constituées de quarks reliés par des gluons. Nous espérons
2 remonter une étape plus loin aujourd'hui avec par exemple la théorie des cordes. Il y a
3 quelque chose d'étonnant dans cette histoire. Nous avons dû développer une théorie, la
4 mécanique quantique, pour comprendre l'atome. Elle fonctionne pour ces objets d'un dix
5 milliardième de mètre. La théorie classique n'est, pour sa part, qu'une approximation
6 acceptable à nos échelles habituelles d'observation. Mais cette même théorie quantique
7 fonctionne encore pour des objets de taille cent mille fois plus petite comme les noyaux des
8 atomes. Elle est même utilisable lorsque nous nous intéressons aux particules qui sont des
9 objets encore mille fois plus petits que les noyaux¹⁸. Nous avons pu gagner plusieurs ordres
10 de grandeur dans notre décomposition de la matière simplement en complétant la théorie de
11 base qu'est la mécanique quantique. Son domaine d'application est proprement gigantesque !
12 Le recours à elle est même indispensable pour comprendre certains phénomènes à notre
13 échelle comme les lasers ou certains corps célestes.

14 ***La synthèse : pas facile de faire un puzzle !***

15 Cette première phase, appelée analyse, ne constitue qu'une étape de la méthode. Grâce à elle
16 nous avons pu retrouver ce que Galilée a appelé les « qualités premières » d'un objet. Mais
17 nous devons encore montrer comment les interactions entre ces constituants expliquent les
18 « qualités secondes » que nous observons au niveau de l'objet dans son ensemble. Il s'agit,
19 après être descendu au niveau inférieur, de construire les marches d'escalier qui nous
20 permettront de revenir au palier de départ. Le succès de cette phase de synthèse est pour le
21 moins mitigé depuis trois siècles. Si la décomposition de la nature en ses constituants a fait
22 des bonds gigantesques, nous avons du mal à reconstituer les objets à partir de leurs pièces de
23 base. Si nous n'y arrivons pas trop mal pour passer du noyau et des électrons à l'atome, les
24 résultats sont moyens pour reconstituer la matière à partir des théories atomiques. Nous
25 disposons bien de quelques grands principes, mais nous avons du mal à comprendre beaucoup
26 de propriétés spécifiques et les prévisions numériques que nous cherchons à faire pour
27 décrire les caractéristiques de la matière à partir de ses constituants sont encore très
28 insuffisantes. Pour les échelles plus petites, nous avons encore plus de mal à reconstituer le
29 noyau à partir des nucléons et les nucléons à partir des quarks et des gluons¹⁹.

30 **Aucune étape de la démarche n'est suffisante en soi**

31 Fabriquer un modèle efficace est donc une tâche difficile qui montre toute la valeur des
32 grands scientifiques qui se sont succédés au cours de l'histoire. Pourtant, une fois ce modèle
33 réalisé, celui-ci n'est pas confirmé pour autant. Tout ce que nous pouvons dire est que nous
34 avons écrit sous forme mathématique une loi ou un ensemble de lois qui génèrent des
35 propriétés équivalentes à ce que nous observons dans la Nature. Après l'observation, la
36 formulation d'une hypothèse et la construction d'un modèle, il nous manque encore
37 certainement quelque chose...

38
39 Nous avons fait de nombreux efforts pour observer, avancer des hypothèses et modéliser,
40 mais pour l'instant nous avons tout juste obtenu une explication cohérente avec le monde tel
41 que nous l'avons observé. Bien sûr la nouvelle loi mathématique explique certainement
42 également une observation nouvelle qui ne rentrait pas dans le cadre de l'ancienne théorie,
43 mais il aurait été certainement possible de trouver d'autres modèles incompatibles avec le
44 nôtre qui expliquent tout aussi bien ce que nous avons observé. Nous avons vu, en parlant de

¹⁸ Jean-Marc Levy Leblond, *Le monde quantique, un introduction*, CD Audio, Paris, De vive voix 2003

¹⁹ Jean-Marc Levy Leblond, *La matière*, CD Audio, Paris, De vive voix 2003

1 la période mythique, qu'une explication cohérente avec l'observation n'était pas pour autant
2 juste et que nous devons encore trouver la façon de sélectionner l'explication qui s'approche
3 au plus près de la réalité.
4
5 Nous allons donc redescendre d'un étage pour entrer dans une nouvelle pièce. Sur la porte est
6 posée une plaque où est inscrit un mot : « simulation ». Une fois entré, nous pouvons
7 constater qu'elle dispose d'une unique fenêtre, comme les autres pièces que nous avons
8 visitées. De nouveau, le paysage visible par cette fenêtre est totalement nouveau. Il va nous
9 falloir comprendre ce nouveau point de vue. Nous ne sommes plus au niveau théorique des
10 mathématiques, celles-ci vont devoir produire des nombres que nous pourrons comparer à
11 ceux que l'on mesure dans le monde observable...

1

2 **5^{ème} étape : prévoir de nouveaux phénomènes observables**

3 **Pour prévoir, calculons !**

4 ***Le calcul numérique***

5 Comme nous l'avons vu, le modèle mathématique permet de prévoir ce que sera le réel dans
6 certaines conditions simplement en donnant aux variables des valeurs adéquates. Une fois que
7 nous disposons d'une théorie possible, l'outil de la prévision est donc le calcul numérique. Le
8 résultat obtenu nous donne la valeur d'une ou plusieurs grandeurs du système étudié (par
9 exemple la position des astres dans un modèle de mécanique céleste). Il ne nous reste plus
10 qu'à vérifier si les nombres fournis par le modèle sont bien les mêmes que ceux que nous
11 mesurons dans le monde observable dans des conditions similaires.

12
13 Les moyens de calculs se sont développés considérablement dans la deuxième moitié du
14 XX^{ème} siècle avec l'arrivée de l'ordinateur. Il est devenu possible de « faire tourner » des
15 modèles extrêmement complexes, comme ceux utilisés en météorologie qui comprennent des
16 millions d'équations. Chacune représente la température, la pression ainsi que le sens et la
17 vitesse du vent pour le maximum de points du territoire étudié.

18 ***Le monde passé à la moulinette.***

19 Toute l'idée des inventeurs de la méthode expérimentale est d'utiliser la capacité de prévision
20 des mathématiques pour décrire un phénomène que nous n'avons pas encore observé. Il
21 suffira ensuite de tenter de l'observer pour voir si la théorie est valable. Si une hypothèse
22 permet de faire des prévisions plus justes que les autres hypothèses, alors elle doit se
23 rapprocher de la Vérité et nous pouvons espérer qu'elle pourra être utilisée pour faire d'autres
24 prévisions. Prenons par exemple un calendrier. Celui-ci n'est ni plus ni moins que
25 l'exploitation d'un modèle qui décrit ce que nous comprenons du cycle des astres dans le ciel.
26 Les premiers peuples ayant créé un calendrier ont pu vérifier quelques temps plus tard que la
27 Lune était bien pleine au jour prévu. Ptolémé de l'école d'Alexandrie, avait créé un système
28 décrivant la trajectoire des planètes et du Soleil autour de la Terre. Son but était de prévoir la
29 place de chaque corps pour un jour donné. Avec la précision des moyens d'observation de
30 l'époque, son système ne marchait pas si mal. Plus tard, lorsque Kepler formula sa « loi des
31 aires » pour les trajectoires des planètes autour du Soleil, il devint possible de calculer le
32 déplacement avec plus de précision. L'ellipse formée par la trajectoire de Mercure semblait
33 cependant tourner sur elle-même pour former une rosace. Il fallut attendre la théorie de la
34 relativité générale d'Einstein pour comprendre ce phénomène et prévoir avec encore plus de
35 précision les positions des astres.

36 ***Prévoir, c'est mourir un peu***

37 Toute la légitimité de notre connaissance scientifique semble reposer sur sa capacité à prévoir
38 le futur ou à prévoir des phénomènes nouveaux à partir d'un simple modèle mathématique
39 appliqué à la Nature. Auguste Comte disait « *Toute science a pour but la prévoyance* ». Il
40 était un des fondateurs du positivisme qui considère que le monde est entièrement ordonné par
41 des lois prévisibles. Si les positivistes ont raison, nous devons arrêter là notre enquête et
42 renoncer à disposer d'une véritable capacité de choix. Dans ce cas, tout est déjà prévisible. Il
43 suffit de connaître les lois et toutes les caractéristiques de la situation présente pour
44 déterminer l'ensemble du futur. Mais nous n'en sommes qu'à la toute première étape de notre

1 enquête et heureusement, malgré les immenses succès de la Science, nous en avons déjà
2 découvert quelques limites qui nous laisseront peut être un peu de libre arbitre...

3 **La mise à l'épreuve de la théorie**

4 ***Préparer une expérimentation***

5 Prenons notre hypothèse : une fois modélisée, nous pouvons en déduire ce que nous avons
6 observé auparavant. Nous n'avons rien prouvé pour autant ! Nous avons juste démontré que
7 notre hypothèse était cohérente avec l'observation.

8
9 Mais nous avons plusieurs hypothèses : l'ancienne loi que nous voulons remplacer, l'idée que
10 nous voulons tester, mais aussi toutes les autres idées que l'on peut trouver par abduction.
11 Comment savoir laquelle est la bonne ? Nous allons devoir pour cela trouver des cas où les
12 différentes hypothèses produisent des prévisions différentes. En effet, toutes nos hypothèses
13 (sauf peut être l'ancienne si elle a été infirmée par l'expérience) peuvent expliquer notre
14 observation de départ, mais si nous trouvons judicieusement une autre observation à faire,
15 nous pourrions les départager. Nous parlerons alors d'expérience de la croix.

16 ***Kepler, Newton et Einstein la tête dans les étoiles***

17 Dans les exemples que nous avons donnés, nous n'avons utilisé que le temps comme variable.
18 Nous avons ainsi réussi à nous projeter dans l'avenir. Cependant, en regardant un modèle sous
19 tous ses angles, il est parfois possible d'en tirer des phénomènes nouveaux. Ainsi la théorie de
20 l'attraction universelle qui a permis à Newton de réunir les trois lois de Kepler en une seule
21 formule mathématique, expliquait également comment la Lune attire l'eau des océans pour
22 former le phénomène des marées. Lorsqu'Albert Einstein énonça la théorie de la relativité
23 générale, il fut possible de tirer de ses équations une conséquence étonnante : les rayons
24 lumineux doivent être déviés par un corps massif. Ce qui était intéressant, c'est que ce
25 phénomène n'avait encore jamais été observé. Il était même contradictoire avec tout ce que
26 l'on pensait à l'époque. De plus il était possible de vérifier cette prévision curieuse de la
27 théorie. Pourtant, l'expérimentation en laboratoire n'était pas possible car la déviation prévue
28 de la lumière est faible et nécessite donc des très grosses masses pour être observable. Mais le
29 Soleil fait un objet massif tout à fait acceptable. Pour ne pas être gêné par son rayonnement, il
30 fallut attendre une éclipse totale. Si nous pouvions voir à cette occasion, tout près de notre
31 étoile, l'image d'une étoile qui normalement aurait dû être cachée par le Soleil, alors cela
32 voulait dire que sa lumière avait été légèrement déviée par le Soleil. Ce fut effectivement le
33 cas et la théorie étonnante d'Einstein fut ainsi validée.

34 **Encadré 6 - Vérification de la théorie de la relativité générale***

35 *Dessin de la déviation de la lumière d'une étoile par le Soleil*
36 *Photo d'une étoile proche du Soleil lors d'une éclipse totale*

37 **Un monde simulé**

38 ***Calculer pour prévoir... ou pour ne pas observer***

39 Une fois que nous sommes sûrs que le modèle est valide et qu'il nous permet de faire des
40 prévisions justes dans certaines conditions, nous ne nous arrêtons pas là, bien au contraire.
41 Cette phase de calcul est utilisée pour exploiter la théorie découverte et prévoir ce que nous
42 souhaitons savoir. La puissance des ordinateurs est aujourd'hui telle qu'il est possible de
43 simuler le réel à un prix bien moins cher qu'une expérimentation réelle. C'est le cas par
44 exemple dans les crash-tests automobiles. Casser une voiture à chaque essai coûterait trop

1 cher. Nous préférons simuler l'accident grâce à nos modèles numériques : nous entrons tous
2 les paramètres de la voiture, les lois de la mécanique et de la résistance des matériaux, et
3 l'ordinateur se charge du reste. Au passage, constatons que nous avons une telle confiance
4 dans nos méthodes scientifiques qu'après avoir validé une théorie, nous osons nous passer de
5 l'observation du monde réel. Seul le monde numérique est pris en compte. Les empiristes
6 auraient été bien déçus de voir que notre société s'éloigne de plus en plus du monde
7 observable pour se réfugier dans l'univers virtuel des simulations numériques. Plus étonnant
8 encore, une fois les théories validées par les observations, il n'y a pas que l'observation du
9 monde « sensible » que nous remplaçons, mais également les idées et hypothèses qui ont
10 fondé la théorie... au grand dam des idéalistes. Quant aux rationalistes, ils pourraient nous
11 reprocher d'oublier tout le cheminement de la raison qui nous a conduit à établir nos théories.
12 Seule la simulation numérique du modèle compte et sur ce point particulier, l'ordinateur
13 remplace avantageusement l'homme...

14
15 Cette nouvelle étape, la prévision par le calcul, a permis des progrès remarquables en nous
16 donnant le moyen de valider nos hypothèses et nos théories. Mais comme chacune des étapes
17 précédentes, elle a tendance à tirer la couverture à elle. Si nous négligeons le reste, nous
18 risquons de céder notre « recherche consciente de la connaissance » à nos seuls ordinateurs et
19 de perdre le sens de notre quête.

20 *Ajuster la théorie par l'observation*

21 Même lorsque nous devons aller plus loin dans nos connaissances, il nous arrive de ne plus
22 chercher d'hypothèse et aussi parfois de nouveau modèle mathématique. Nous ajustons
23 simplement nos anciens modèles par « essais - erreurs » en faisant varier certains paramètres
24 jusqu'à ce que le nouveau modèle colle à l'observation. Durant la phase de recherche d'une
25 théorie, nous nous contentons donc parfois des deux seules étapes que sont l'observation et la
26 simulation. Et encore, dans les domaines plus difficiles à observer que nous ont laissés les
27 scientifiques des générations précédentes, nos observations sont souvent bien indirectes et
28 font amplement appel au calcul statistique ou à d'autres traitements numériques des données
29 pour retrouver le phénomène que nous recherchons. Une fois observée une image par
30 télescope ou une expérience de collision de particules dans un accélérateur, les scientifiques
31 doivent attendre que l'ordinateur ait traité les images et les données avant de pouvoir en
32 disposer. Ils modifient alors leur modèle numérique puis redonnent la main à l'ordinateur qui
33 fera de nouvelles simulations. Une fois l'ensemble validé, ce sera au tour des ingénieurs qui
34 pourront même négliger le monde observable pour ne se placer que dans le monde numérique
35 simulé. L'étendue et la pensée qui firent tant débat chez les philosophes ont cédé le pas aux
36 calculs des ordinateurs.

37 **La fin des philosophes...**

38 *Nous avons perdu la raison...*

39 En perdant notre place au profit des ordinateurs, il semble que nous ayons perdu autre chose
40 encore : le sens de notre quête. Le rôle des philosophes n'est pas seulement d'expliquer le
41 monde par la raison (pour certains à partir de l'observation). Dans les multiples domaines
42 d'étude possible ils sélectionnent le chemin en fonction de divers critères et nous éclairent sur
43 la direction à suivre. Au moyen âge, les études servaient à faire progresser la gloire de Dieu.
44 Plus tard, les humanistes ont cherché à nous émanciper en concentrant nos connaissances sur
45 l'Homme. Les idéalistes allemands avaient une démarche similaire en justifiant les études
46 faites dans les universités à partir des idéaux qu'ils prêchaient. Tout se passe comme si, dans le
47 cycle de la démarche scientifique, la Nature injectait de la réalité dans la phase d'observation,

1 et l'Homme du sens dans le choix des hypothèses et du modèle. Cette façon de donner des
2 valeurs à notre quête de la connaissance en se basant sur certaines de nos idées, le philosophe
3 Jean-François Lyotard l'appelle un « récit ». Mais ce dernier dépend des idéaux de chaque
4 époque et nous ne savons plus trouver les idées absolues qui seraient valables en tout temps.
5 Lyotard va plus loin encore : « La philosophie en tant que telle ne peut pas continuer, ou alors
6 on va lui faire jouer un rôle abominable, c'est-à-dire le rôle que tel ou tel philosophe allemand
7 pas plus idiot qu'un autre a essayé de jouer pour donner au nazisme le fondement qui lui
8 manquait c'est à dire en fabriquant des mythes ou du fascisme. [...] Ce qui s'use ce n'est pas
9 tellement le récit mais la faculté de légitimer qui avait été assignée à ces récits²⁰ ».

10 ***Le sens est mort, vive le pragmatisme !***

11 Le sens est remplacé par le pragmatisme. La connaissance est au service de la performance.
12 Cette approche qualifiée de post-moderne préexistait cependant à notre époque. Nous la
13 retrouvons chez les Grecs, en particulier chez les cyniques comme Antisthène ou le célèbre
14 Diogène qui vivait dans un tonneau et considérait qu'il ne faut pas se laisser prendre par le
15 malheur des autres. Pour eux, le bonheur n'est pas dans le monde extérieur mais le fait d'en
16 être indépendant. Nous retrouvons également ce remplacement des idéaux par une approche
17 pragmatique dans Diderot avec par exemple « *Le neveu de Rameau* » ou encore « *Jacques le*
18 *fataliste* ». A défaut de parcourir tout le cycle scientifique pour rechercher une vérité peut être
19 inaccessible, la tentation est grande de se contenter de ne chercher que ce qui peut nous être
20 utile.

²⁰ Jean-François Lyotard, « Dialogues sur la condition post-moderne » avec Vincent Descombes, produit par Roger Pillaudin - France Culture 18 décembre 1979

1

2 **6^{ème} étape : expérimenter**

3 Il nous reste encore à descendre d'un étage pour retrouver la terre ferme et le monde
4 observable. Si nous ne nous sommes pas perdus dans la pièce de la simulation, nous en
5 ressortons bardé de nombres et de chiffres différents issus des hypothèses distinctes. Nous
6 allons pouvoir les comparer aux nombres issus du monde observable, ceux que nous allons
7 mesurer. Mais la pièce dans laquelle nous arrivons au rez-de-chaussée, bien qu'elle ait une
8 fenêtre qui nous montre le même paysage que celle de notre point de départ, est légèrement
9 différente...

10 **Il existe deux types d'observation**

11 *Une différence importante*

12 Lors de notre première étape, l'observation du monde permettait d'infirmier une loi ancienne
13 ou tout au moins d'en voir les limites. Elle mettait à jour quelque chose de nouveau dont il
14 allait falloir trouver l'explication. Le phénomène observé qui bousculait ainsi nos
15 connaissances arrivait souvent par hasard, par sérendipité. Dans cette première étape, il fallait
16 s'abstraire des intentions ou a priori qui nous enferment et nous empêchent de voir quelque
17 chose auquel nous ne nous attendons pas.

18

19 Pour cette nouvelle étape, nous allons parler d'expérimentation pour bien la distinguer de
20 l'observation²¹. Cette fois, notre but est de confirmer ou réfuter une théorie. Nous cherchons
21 donc quelque chose de très précis pour nous permettre de valider ou non notre hypothèse.
22 Pour cela, il vaut mieux orienter l'observation, si possible en contrôler tous les paramètres, en
23 bref... faire une expérimentation. Finalement, dans ce cas, « notre raison pose des questions à
24 la nature » comme l'explique Emmanuel Kant.

25

26 Claude Bernard est un médecin qui s'est rendu célèbre pour son étude de la démarche
27 scientifique. Il explique²² : « *Ceux qui ont condamné l'emploi des hypothèses et des idées
28 préconçues dans la méthode expérimentale ont eu tort de confondre l'invention de
29 l'expérience avec la constatation de ses résultats Il est vrai de dire qu'il faut constater les
30 résultats de l'expérience avec un esprit dépouillé d'hypothèses et d'idées préconçues. Mais il
31 faudrait bien se garder de proscrire l'usage des hypothèses et des idées quand il s'agit
32 d'instituer l'expérience ou d'imaginer des moyens d'observation.* »

33 *Observer n'est pas expérimenter... et vice versa*

34 La crise du logement aidant et surtout la difficulté d'aller toujours plus loin dans chacune des
35 étapes de la démarche scientifique fait qu'il est de plus en plus rare d'avoir une seule
36 personne habitant toutes les pièces. Au contraire chaque pièce héberge une famille nombreuse
37 de scientifiques. Mais ceux du rez-de-chaussée (l'observation et l'expérimentation)
38 conservent les deux pièces... même si chacune d'elle a une fonction bien définie :
39 « *L'observateur et l'expérimentateur répondraient donc à des phases différentes de la
40 recherche expérimentale. L'observateur ne raisonne plus, il constate; l'expérimentateur, au
41 contraire, raisonne et se fonde sur les faits acquis pour en imaginer et en provoquer
42 rationnellement d'autres. Mais, si l'on peut, dans la théorie et d'une manière abstraite;
43 distinguer l'observateur de l'expérimentateur, il semble impossible dans la pratique de les*

²¹ François Elie, *Epistémologie et histoire des sciences*, cours, 1995

²² Claude Bernard, *IEME I,1* §6

1 *séparer, puisque nous voyons que nécessairement le même investigateur est alternativement*
2 *observateur et expérimentateur*²³. »

3
4 Ainsi, dans l'observation du réel il existe deux savoir-faire distincts « *Si l'on expérimentait*
5 *sans idée préconçue, on irait à l'aventure; mais d'un autre côté, ainsi que nous l'avons dit*
6 *d'ailleurs, si l'on observait avec des idées préconçues, on ferait de mauvaises observations et*
7 *l'on serait exposé à prendre les conceptions de son esprit pour la réalité*²⁴. »

8 **L'expérience est-elle toujours possible ?**

9 ***Quand on ne peut pas expérimenter***

10 Dans certaines sciences, comme l'Astronomie ou la Météorologie, il n'est pas vraiment facile
11 de faire des expériences ! Les scientifiques utilisent alors l'observation et la simulation pour
12 vérifier leurs hypothèses. Assez souvent, même en expérimentant, il est difficile de trouver la
13 trace du phénomène que l'on cherche à observer car elle est noyée dans un grand nombre
14 d'autres données. Il n'est pas toujours facile ou même possible de trouver une situation qui
15 isole le paramètre à étudier. C'est le cas par exemple lorsque l'on cherche une interaction rare
16 entre certaines particules ou bien lorsque l'on veut comprendre un aspect des lois
17 économiques dans un monde complexe. Le scientifique se transforme alors en véritable
18 détective pour retrouver une aiguille dans une botte de foin (et cette fois, il n'est plus question
19 de nous laisser distraire par la fille du paysan !). La solution consiste en général à réaliser un
20 très grand nombre d'observations. Nous utiliserons alors ces résultats abondants pour faire
21 émerger, grâce aux probabilités, l'élément à étudier et éliminer les autres phénomènes
22 parasites. Les probabilités ressemblent un peu au tamis des chercheurs d'or qui leur permet de
23 trier les paillettes du précieux métal des autres éléments.

24
25 Il y a un débat pour savoir si les sciences qui ne permettent pas un grand nombre
26 d'expérimentations doivent ou non s'appeler sciences. Certains considèrent qu'il est
27 nécessaire de remettre en question le modèle scientifique trop rigide et prévu surtout pour la
28 mécanique. D'autres, comme Michel Foucault²⁵, considèrent que ces disciplines devraient
29 s'assumer comme des démarches rationnelles basées sur l'observation et non
30 l'expérimentation.

31
32 La capacité d'expérimenter peut aussi évoluer en fonction de l'avancement de nos
33 connaissances et de l'état de notre technologie. Au début de l'étude des particules
34 élémentaires par exemple, l'observation des rayons cosmiques permettait de guetter le
35 passage d'une particule nouvelle. Mais lorsque nous avons été capables de construire des
36 accélérateurs de particules, alors les progrès ont été bien plus rapides car nous avons pu
37 produire des expérimentations à la demande. Le même phénomène s'est passé entre autres en
38 chimie ou en médecine.

39 ***Sommes-nous des scientifiques ?***

40 Notre enquête sur les sciences répond-elle aux critères scientifiques ? Pas vraiment ! Nous
41 nous contentons d'observer. Nous n'avons pas mis en place d'expérimentations en plaçant des
42 scientifiques dans un bocal et en leur demandant de pratiquer telle ou telle science sous nos
43 yeux. De plus, malgré le grand nombre de sciences, et de scientifiques les ayant pratiquées

²³ *ibid.*

²⁴ Claude Bernard *IEME I,2*, §2

²⁵ Michel Foucault, *Les mots et les choses*

1 depuis des siècles, nous n'avons pu dans notre enquête nous concentrer que sur un petit
2 nombre de cas les plus connus : principalement ceux qui sont devenus célèbres parce qu'ils
3 ont trouvé... en négligeant trop souvent tous les autres. Notre observation des observateurs
4 n'est donc pas scientifique...

5 **L'expérimentation ne permet que de réfuter, pas de prouver**

6 *Le dilemme entre observation et théorie*

7 Résumons-nous sur les différentes étapes que nous avons découvertes jusqu'à présent : nous
8 aurions pu considérer que le point de départ dans le raisonnement scientifique est l'idée ou
9 l'hypothèse, mais nous vivons dans un monde sensible et nous devons commencer par ce que
10 nous percevons du monde. En partant de l'observation, nous pouvons réfuter une ancienne
11 théorie, nous pouvons également faire un ensemble d'inductions pour passer d'une
12 observation particulière à une règle plus générale. Nous devons ensuite faire un saut pour
13 obtenir par abduction une hypothèse explicative qu'il reste ensuite à valider. Comme nous ne
14 pouvons pas la valider directement par l'observation, nous cherchons un cas particulier prévu
15 par la théorie, contraire à l'ancienne théorie et que nous pouvons observer. Cela nous
16 permettra de dire que la nouvelle théorie « semble » plus juste que l'ancienne.

17
18 Il existe donc une difficulté, soulevée par nombre de personnalités comme Aristote, Leibnitz,
19 Kant ou Claude Bernard : la théorie se base sur une proposition universelle qu'il s'agit de
20 valider (« *la nuit tous les chats sont gris* ») ; alors que l'observation et l'expérience ne se
21 basent que sur des faits individuels (éventuellement multiples) et ne permettent donc d'obtenir
22 que des propositions particulières (« *je n'ai vu personnellement que des chats gris la nuit* »
23 ou bien « *il existe un chat qui n'est pas gris la nuit et que j'ai pu observer* »). A cause de cette
24 différence, l'observation ne peut en aucun cas valider une théorie, elle ne peut que la réfuter.
25 Karl Popper a montré cette asymétrie entre la vérification et la réfutation (qu'il appelle la
26 falsification). Nous n'avons pu trouver sur notre chemin qu'une forte présomption et non une
27 preuve de notre théorie en utilisant sa capacité à prédire d'autres phénomènes. La vérité de la
28 science ne repose que sur la mise à l'épreuve de ce que nous croyons être vrai et sur la
29 possibilité de le réfuter.

30 *Quelle est la puissance de la Science ?*

31 Cette séparation entre la théorie et l'observation a deux conséquences. Tout d'abord nous
32 avons du passer d'un ensemble d'observations (des propositions particulières) à un induction
33 et à son hypothèse explicative basée sur des propositions universelles. Ensuite, une fois
34 développée la théorie, il n'est pas possible de la démontrer totalement par une
35 expérimentation. La théorie et l'observation sont irrémédiablement séparées...

36
37 Pour se sortir de mauvais pas, la science a utilisé une astuce : demander à la théorie de prévoir
38 un fait particulier qui ne pouvait pas être déduit de l'ancienne théorie. A défaut d'une
39 démonstration totalement rigoureuse que l'hypothèse choisie pour expliquer l'observation est
40 la bonne, elle en donne une forte présomption. De ce point de vue, la science dispose d'un
41 avantage énorme par rapport à d'autres approches qui ne cherchent qu'à trouver une
42 hypothèse qui fonctionne, sans chercher si celle-ci est plus valable qu'une autre. La Science
43 est donc incomparablement plus puissante que le mythe ou la discussion de comptoir. Mais
44 elle a aussi ses limites : nous ne pourrons jamais être sûrs qu'une théorie qui nous semble
45 démontrée aujourd'hui ne sera pas réfutée demain. Par ailleurs, et cela pourrait nous servir
46 dans notre enquête, la démarche scientifique nécessite pour fonctionner certaines choses :
47 pouvoir faire des prévisions, pouvoir expérimenter, etc.

1

2 **La démarche scientifique**

3 **La méthode expérimentale, une longue histoire**

4 ***La (re)découverte de Roger Bacon***

5 Cette idée de confirmer la théorie par l'expérience est déjà ancienne. Elle s'est constituée
6 progressivement²⁶ à partir d'Aristote et a été formulée méthodiquement par les philosophes
7 sceptiques antiques. Ces derniers cherchaient à comparer de toutes les façons possibles les
8 choses perçues et celles conçues par la raison. Parmi eux Ménodote de Nicodémie formula
9 une méthode rigoureuse qui incluait déjà l'observation ou la confirmation par l'expérience.
10 Après une longue éclipse, le franciscain Roger Bacon redécouvre au XIII^{ème} siècle ces idées
11 et décompose la méthode en plusieurs étapes :

- 12 1. L'observation du phénomène et sa mesure
- 13 2. La formulation d'hypothèses pour l'expliquer et la construction d'un modèle explicatif
14 (ces deux étapes étaient rassemblées chez Bacon)
- 15 3. La prévision de nouveaux événements répondant à ces hypothèses et la déduction de
16 conséquences expérimentales
- 17 4. La vérification ou la réfutation par l'expérience
- 18 5. Conclusion

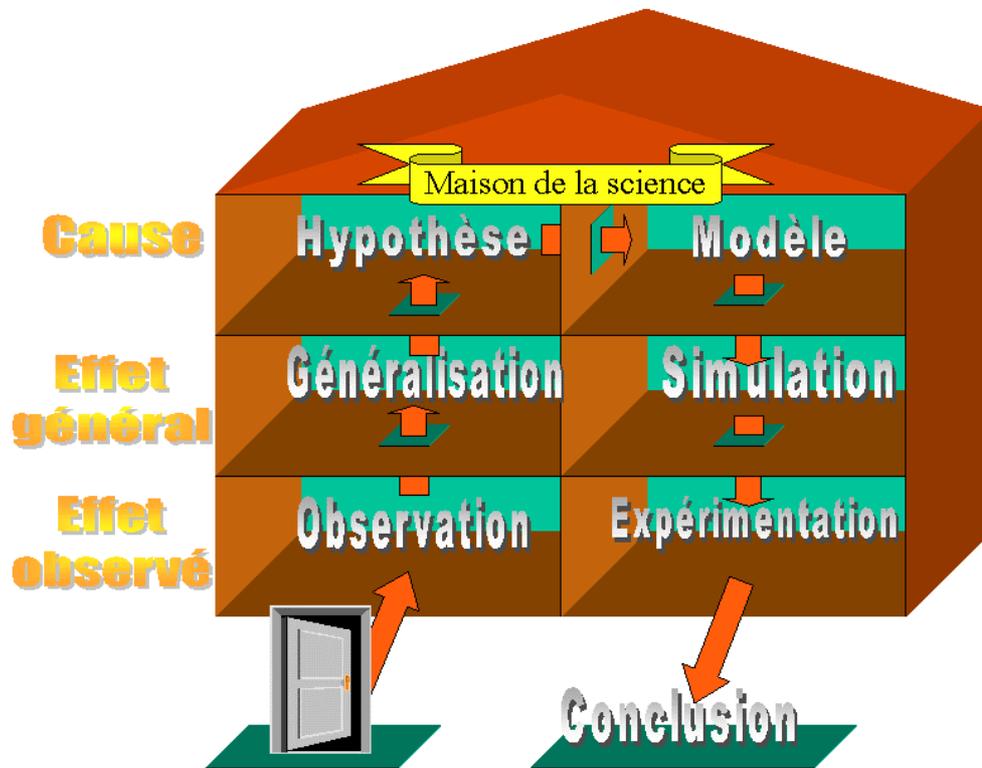
19 ***Et la boucle est bouclée***

20 Nous retrouvons donc nos différentes étapes d'observation, de formulation d'une hypothèse
21 explicative, de modélisation, de prévision et d'expérimentation pour valider ou non la théorie.
22 Par rapport à notre maison de la science, Roger Bacon a considéré comme un seul et même
23 appartement notre « duplex » observation-généralisation qui utilise l'induction pour passer
24 d'un étage à l'autre. Il a également logé la même famille de scientifiques dans le deux pièces
25 du haut (formulation d'une hypothèse et construction d'un modèle). Ce cycle complet permet
26 alors dans une ultime étape d'évaluer la théorie et de conclure à sa validation ou non...
27 jusqu'à la prochaine fois.

²⁶ Voir l'article sur la méthode scientifique in l'encyclopédie libre en ligne Wikipedia :
http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_scientifique

1
2

Encadré 7 - La Maison de la Science



3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

Les différentes étapes de la démarche scientifique peuvent se représenter comme autant d'appartements d'une maison qu'il faut traverser pour ressortir.

- Le premier appartement est souvent un duplex. L'induction est l'escalier qui permet de passer d'un effet observé à l'effet général. Ce n'est pourtant pas une déduction. Il s'agit plutôt de considérer qu'avec l'habitude d'observer un phénomène il nous semble refléter quelque chose de plus général. Dans ces pièces nous utilisons beaucoup la mesure qui nous permet de mettre un nombre sur une observation. Ces nombres nous serviront ensuite dans les pièces qui utilisent les mathématiques et le calcul numérique .
- La pièce de l'hypothèse est très particulière. Pour y accéder, il faut utiliser l'abduction, la seule forme de raisonnement qui permet de découvrir quelque chose de neuf : une explication au phénomène étudié. Il s'agit de proposer une idée qui, si on la considérait comme une cause, donnerait bien le même effet que celui étudié. Son unique fenêtre n'est pas orientée comme les pièces différentes vers le monde sensible que nous observons mais vers le monde des multiples idées que nous pouvons imaginer. Souvent, dans l'approche mythique ou la discussion de comptoir, la démarche s'arrête là : nous avons une explication, « donc » ce doit être la bonne...
- La pièce suivante permet de décrire l'hypothèse émise à l'aide d'un langage mathématique plus rigoureux. Sa fenêtre est orientée vers une troisième direction, celle qui nous donne une représentation du monde rationnelle sous forme logique et mathématique. Le raisonnement utilisé ici est la déduction.
- Nous redescendons ensuite vers la pièce où le modèle est « mouliné » pour obtenir des nombres qui simulent les effets provoqués par le modèle. Elle n'est souvent plus habitée

1 que par des ordinateurs. Ils ont cependant droit à leur fenêtre qui est orientée vers la
2 quatrième direction : celle qui présente un monde simulé ou virtuel. Ce monde simulé s'il
3 est bien une autre représentation de notre monde sensible, permet de « prévoir » des
4 nouveaux phénomènes que nous devrions pouvoir observer, même si nous ne les avons
5 jamais encore remarqués jusqu'à présent.

- 6 • Les nombres qui sont l'essence du monde virtuel peuvent ensuite être comparés à ceux
7 mesurés lors d'expérimentations une fois que nous sommes redescendus dans la dernière
8 pièce. La direction de sa fenêtre pointe de nouveau vers le monde sensible que nous
9 pouvons observer avec nos sens (ou à défaut avec nos instruments de mesure)
- 10 • Une fois parcourues toutes les pièces, nous avons pu trouver une hypothèse qui explique
11 ce que nous avons observé au tout début. Mais le grand apport de la science est dans
12 l'ensemble de pièces supplémentaires qui permettent de prévoir un autre phénomène
13 jamais encore observé et de mettre en place une expérimentation pour vérifier si
14 effectivement notre hypothèse modélisée est utile pour faire des prévisions. Une fois
15 ressortis de tout ce parcours, nous pourrions conclure que notre théorie (notre hypothèse
16 modélisée) fonctionne bien pour prévoir des phénomènes et nous l'accepterons comme
17 théorie scientifique... à défaut d'avoir pu la démontrer formellement.

18
19 Une fois le cycle complet parcouru avec succès, la théorie est considérée comme validée
20 scientifiquement. Au XVIIème siècle, un autre Bacon, prénommé pour sa part Francis fit
21 avancer la méthode scientifique. Ce fut le cas également de René Descartes, qui avec sa
22 méthode qu'il voulait universelle, souhaitait étendre la certitude mathématique à l'ensemble
23 du savoir. Les contributeurs à la méthode expérimentale furent nombreux mais nous pouvons
24 citer à nouveau le médecin et physiologiste français du XIXème siècle Claude Bernard qui
25 introduisit la méthode scientifique en biologie. Nous retrouvons des étapes similaires dans sa
26 description de la démarche scientifique :

27 « *Le savant complet est celui qui embrasse à la fois la théorie et la pratique expérimentale.*

- 28 1. *Il constate un fait ;*
- 29 2. *A propos de ce fait, une idée naît dans son esprit ;*
- 30 3. *En vue de cette idée, il raisonne, institue une expérience, en imagine et en réalise les*
31 *conditions matérielles ;*
- 32 4. *De cette expérience résultent de nouveaux phénomènes qu'il faut observer, et ainsi de*
33 *suite.*

34 *L'esprit du savant se trouve en quelque sorte toujours placé entre deux observations: l'une qui*
35 *sert de point de départ au raisonnement, et l'autre qui lui sert de conclusion²⁷.* »

36
37 Karl Popper, un philosophe du XXème siècle, lui aussi déjà cité, y ajouta une étape de
38 diffusion des résultats et des protocoles utilisés pour permettre à la communauté scientifique
39 de vérifier le caractère reproductible de la prévision faite à l'aide de la théorie candidate.

40
41 Nous allons convoquer notre premier témoin pour vérifier l'enchaînement des différentes
42 étapes du processus scientifique. Audouin Dollfus, astronome et aéronaute, spécialiste du
43 système solaire et découvreur de Janus - l'une des lunes de Saturne - présente le profil parfait
44 du scientifique qui ose se lancer pour vérifier ses théories.

45 **Encadré 8 - Témoignage de Audouin Dollfus : de l'observation à l'observation*.**

46 *[Interview à réaliser]*

²⁷ Claude Bernard, *IEME I,1* §6

1 *Présentation des différentes étapes qui ont mené à vérifier s'il y avait de l'eau sur Mars grâce*
2 *à une observation dans un ballon stratosphérique. Chaque question pourrait se baser sur une*
3 *des étapes : observations antérieures, hypothèse (eau sur Mars), Modèle (polarisation de la*
4 *lumière), expérimentation (en ballon)*
5

6 **Parcourir le cycle jusqu'à trouver la bonne explication**

7 *Petite histoire à l'hôpital général de Vienne*

8 Pour trouver une théorie qui marche, il faut parfois aller chercher de plus en plus loin les
9 hypothèses tant qu'elles ne sont pas vérifiées par l'expérience. Voici l'exemple du médecin
10 d'origine hongroise Ignace Semmelweis qui a cherché à comprendre pourquoi beaucoup plus
11 de femmes mourraient dans un des deux services d'obstétrique de l'hôpital général de Vienne
12 où il a travaillé de 1844 à 1848²⁸.

13
14 Au départ vient un constat : trois ou quatre fois plus de femmes meurent de fièvre puerpérale
15 dans un des services de l'hôpital par rapport à l'autre.

- 16 1. La première étape a consisté à examiner les avis de chacun : il doit y avoir des
17 « influences épidémiques » basées sur des « changements atmosphériques, cosmiques et
18 telluriques »- cette première hypothèse est réfutée car alors les deux services devraient
19 être touchés de la même façon
- 20 2. Comme le premier essai n'est pas bon, une autre étape consiste à consulter les experts : ils
21 découvrent que plus de blessures sont commises accidentellement par les étudiants en
22 stage qui sont plus nombreux dans un des services - de nouveau cette hypothèse est
23 réfutée car lorsqu'on diminua de moitié le nombre d'étudiants et le nombre d'exams
24 qu'ils faisaient, le nombre de décès après une brève chute augmenta !
- 25 3. Il faut donc trouver de nouvelles hypothèses plausibles : la configuration des locaux dans
26 le service incriminé obligeait le prêtre apportant les derniers sacrements à traverser cinq
27 salles avant d'arriver au malade contrairement à l'autre service, ce qui pouvait jouer sur le
28 moral des autres femmes - Une nouvelle fois l'hypothèse fut réfutée car après que
29 Semmelweis eût demandé au prêtre de faire un détour, la mortalité ne diminua pas.
- 30 4. Lorsque l'on ne trouve plus d'hypothèses plausibles, « *Tout est bon !* » comme le dit
31 Feyerabend²⁹ : Les femmes accouchaient sur le dos dans le premier service et sur le côté
32 dans le second service. Semmelweis « comme un homme à la dérive qui se raccroche à un
33 brin de paille, de vérifier, bien que cette supposition lui parût peu vraisemblable, si cette
34 différence de méthode avait un effet. » - Malheureusement, l'hypothèse est de nouveau
35 réfutée car le changement de méthode n'a pas d'effet.
- 36 5. A ce stade, seul le hasard peut encore faire tomber sur la bonne hypothèse... à condition
37 d'y être attentif. « *Le hasard ne favorise que les esprits préparés* » comme le dit Pasteur :
38 Un des confrères du médecin meurt d'une maladie aux symptômes proches après s'être
39 entaillé le doigt lors d'une autopsie. Ignace Semmelweis émet l'hypothèse que les
40 patientes sont mortes du même type d'empoisonnement du sang. Les médecins et leurs
41 étudiants du premier service avaient l'habitude d'entrer en salle d'accouchement après
42 avoir fait des dissections et d'examiner les femmes après s'être lavé superficiellement les
43 mains - Si la cause de l'empoisonnement est dû aux autopsies, alors en se lavant les mains

²⁸ Carl Hempel, *Eléments d'épistémologie*, Colin U 1972 repris par François Elie, *Epistémologie et histoire des sciences*, cours, 1995

²⁹ Paul Feyerabend est un philosophe des sciences du XX^{ème} siècle qui a développé l'anarchisme épistémologique : la science ne progresse que grâce à des phases de désordre.

1 dans une solution de chlorure de chaux avant de passer au service d'obstétrique, le
2 nombre de patientes infectées devrait diminuer. - La théorie fut validée car la prédiction se
3 réalisa et le nombre de décès fut même plus bas que dans le deuxième service.

4 **Il ne faut pas rater une marche !**

5 *Quand on ne voit qu'une seule étape...*

6 Nous l'avons vu, divers courants philosophiques mettent l'accent sur telle ou telle étape : les
7 empiristes sur l'observation, les idéalistes sur les idées qui forment les hypothèses, les
8 rationalistes sur la raison qui permet de construire des modèles ou encore les post-modernes
9 sur le pragmatisme à la base de la simulation. Mais la démarche scientifique n'a de valeur que
10 lorsque toutes ces étapes sont parcourues successivement avec succès. Même la diffusion des
11 résultats a son importance. Elle n'élimine pas les erreurs ou les mensonges, mais permet
12 simplement de les rendre plus faciles à débusquer grâce à la vérification de toute la démarche
13 par le reste de la communauté.

14 *...on oublie les autres*

15 Il arrive cependant fréquemment que certaines étapes soient omises. Les idéalistes grecs, à la
16 suite de Platon considéraient que seule la raison permet d'accéder à la connaissance et
17 négligeaient l'observation. De nos jours, de nombreux « pseudo-scientifiques » ont
18 l'impression de pouvoir énoncer une vérité scientifique simplement parce qu'ils détiennent
19 une théorie cohérente avec ce que l'on observe. Mais tant qu'ils n'auront pas utilisé leur
20 modèle pour prévoir puis observer de nouveaux phénomènes qui ne peuvent être expliqués
21 par l'ancienne théorie, ils ne disposent que d'une simple hypothèse non validée. Ces
22 « pseudo-sciences » se développent au fur et à mesure que notre société n'accorde de crédit
23 qu'à la seule connaissance scientifique ou supposée telle.

24 **Et si on oublie de faire des hypothèses ?**

25 *Des épicycles à la physique des particules*

26 Du côté de la physique des particules se rencontre une autre difficulté. Si les simulations
27 numériques correspondent admirablement bien aux observations effectuées dans les grands
28 accélérateurs de particules, nous manquons d'une idée qui permettrait de trouver une façon
29 simple de modéliser ce que sont les particules. Au lieu de cela, nous ajoutons des paramètres
30 dans nos équations sans comprendre à quoi ils correspondent. La situation est assez similaire
31 à celle qui prévalait au moment où les scientifiques ajoutaient des épicycles aux trajectoires
32 de planètes pour expliquer leur rotation autour de la terre : les résultats sont justes mais au
33 prix d'équations de plus en plus compliquées dont on ne comprend plus la signification. Pour
34 sortir de cette situation, la science du XXIème siècle attend son nouveau Copernic ou son
35 nouvel Einstein qui lui offrira un nouveau point de vue.

36 *L'approche pragmatique par les rustines*

37 A défaut de cette nouvelle approche, nous faisons « gonfler » les anciennes théories en leur
38 ajoutant de nombreuses verrues pour les faire coller à l'observation. Cette approche est
39 considérée comme pragmatique car elle permet d'obtenir de bons résultats prédictifs sans
40 même nécessiter une remise en question du modèle de base. Mais outre la complication
41 introduite, une autre difficulté peut arriver. Lorsque nous appliquons une règle dans un
42 domaine qui n'est pas le sien, des paradoxes apparaissent. La physique rencontre nombre de
43 ces paradoxes lorsqu'elle cherche par exemple à réunir la relativité et la physique quantique
44 en partant de l'une ou l'autre de ces théories et en les adaptant.

Encadré 9 - Comment fabriquer un paradoxe

« Un paradoxe, c'est quand un raisonnement que l'on croit valide, à partir de prémisses que l'on croit vraies, engendre une conclusion que l'on croit fausse. Il nous faut renoncer à au moins une des trois croyances³⁰. »

Construire un paradoxe est très simple. Il suffit d'utiliser une théorie dans un domaine où elle ne s'applique pas. De nombreux paradoxes émergent lorsque l'on parle d'infini par exemple. Nos notions élémentaires de calcul, comme l'addition, ne s'appliquent que pour des nombres finis. Chaque fois que nous cherchons à les utiliser avec des infinis, des choses étonnantes arrivent. Prenons une petite histoire pour illustrer cela.

Il était une fois un hôtel disposant d'une infinité de chambres. Un homme arriva un jour pour être hébergé. Manque de chance... l'hôtel était complet. Le patron qui était un homme avisé utilisa un stratagème. Il donna au client un mot sur lequel était inscrit « donne ce mot à l'occupant de la chambre suivante et une fois qu'il est parti, installe-toi à sa place ». Le client frappa à la première porte. Lorsque l'occupant ouvrit, il lui donna le mot. L'homme ramassa ses affaires, prit le billet et se dirigea vers la deuxième chambre pendant que le nouveau client prenait sa place. A la deuxième porte, le même scénario se déroula. L'ancien client de la première chambre tendit le billet à l'occupant de la deuxième chambre qui le lut, prit ses affaires et partit pour la chambre suivante. Chaque client déménagea ainsi pour occuper la chambre suivante. Comme l'hôtel était infini, il ne laissa personne sans hébergement : quelle que soit la chambre où un client en délogeait l'occupant, il y avait toujours une chambre suivante qui n'avait pas encore été visitée pour y déplacer le client.

De nombreuses histoires amusantes existent autour des paradoxes. Mais les scientifiques qui essaient de parfaire leur modèle de simulation ont ainsi l'indication qu'ils sortent du domaine de validité de la théorie. La théorie de Newton prédisait que les vitesses s'additionnaient quand elles allaient dans le même sens (par exemple pour une personne qui marche dans un train). Il ne devait donc pas y avoir de limites puisqu'il était toujours possible d'ajouter une vitesse à une autre. Pourtant, les observations montraient une limite à la vitesse des corps qui ne pouvaient dépasser la vitesse de la lumière. Ce fut l'indication que la théorie de Isaac Newton n'était plus valable dans le domaine des grandes vitesses, et l'occasion pour Albert Einstein de s'illustrer en proposant une hypothèse novatrice.

Nous avons également déjà rencontré des paradoxes très fréquents lorsque nous cherchions à savoir si une proposition non décidable était vraie ou fausse. Nous pourrions l'appeler le « paradoxe de la discussion de comptoir »...

Alors c'est vrai ou c'est faux ?

Nous avons l'habitude dans notre culture de considérer que quelque chose est seulement vrai ou faux. Mais une véritable démarche scientifique est bien plus prudente.

Tout d'abord, tant que le cycle de la méthode scientifique n'est pas totalement terminé, y compris par plusieurs vérifications réalisées par d'autres laboratoires, une théorie ne peut être considérée ni comme vraie ni comme fausse, seulement comme une hypothèse. Souvent, même à l'intérieur de la communauté scientifique, il existe des échanges où des protagonistes considèrent que telle ou telle hypothèse est juste ou fausse avant même que le cycle soit

³⁰ Cette définition nous est proposée par François Elie.

1 terminé. Il s'agit alors ni plus ni moins que de discussions de comptes... Elles peuvent être
2 enrichissantes en ce qu'elles permettent de formuler des arguments et des contre-arguments
3 qui peuvent enrichir l'une ou l'autre des étapes de la méthode, mais en aucun cas les
4 conclusions des protagonistes ne peuvent être considérées comme des vérités scientifiques.

1

2 **Mais où est passée la réalité ?**

3 **On a perdu la Vérité...**

4 *...Même quand tout semble parfait*

5 Imaginons que nous ayons une théorie qui ait passé avec succès toutes les étapes de la
6 méthode expérimentale scientifique. Elle a permis de prévoir des phénomènes nouveaux qui
7 ont effectivement été vérifiés au cours d'expérimentations dans plusieurs laboratoires de la
8 communauté scientifique. Cette fois nous devrions être tirés d'affaire, nous avons enfin une
9 Vérité scientifique à notre portée !

10 *Nous ne voyons le monde qu'à distance depuis différents points de vue*

11 Mais la théorie n'est qu'une représentation de ce que nous voyons du monde, même si elle a
12 l'avantage de permettre des prévisions vérifiables. George Berkeley, un évêque et philosophe
13 empiriste irlandais, explique : « le monde matériel n'existe que par ce que nous en
14 percevons ». Savoir s'il existe une réalité derrière ce que nous observons ou nos théories est
15 un débat qui a animé l'histoire de la philosophie. Baruch Spinoza voyait le monde comme une
16 « substance » unique que nous pouvions appréhender par ses diverses « qualités » - nous
17 parlerions aujourd'hui de « représentations ». Selon lui, deux au moins de ces qualités sont
18 accessibles à l'homme : la pensée et l'étendue (la représentation du monde telle que nous la
19 percevons par nos sens). Tout se passe comme si, à l'extérieur de la maison de la Science où
20 nous nous trouvons, se trouvait la réalité qui nous était inaccessible directement. Chaque
21 étape nous permet de « voir » cette réalité sous un angle différent. L'observation et
22 l'expérimentation du monde nous permettent d'examiner la substance sous sa forme
23 « étendue » et les hypothèses modélisées de l'appréhender sous sa forme de « pensée ».

24

25 Après notre petite visite dans la maison de la Science, nous pourrions même séparer la pensée
26 en deux types de représentations : le monde des idées qui sert à faire des hypothèses et sa
27 représentation modélisée sous forme logico-mathématique. Nous pourrions également ajouter
28 une autre représentation : le virtuel, qui représente le monde sous la forme d'une simulation
29 numérique. Nous avons donc pu regarder le monde selon quatre directions différentes ou,
30 pour reprendre les termes de Spinoza, selon quatre qualités. Cette approche est nommée le
31 monisme en philosophie. Elle s'oppose à la vision dualiste de Platon ou encore Descartes qui
32 considèrent qu'il y a deux principes différents une pour l'âme (le monde des idées et de la
33 pensée) et une pour le corps (l'étendue). Dans ce cas, la Vérité n'est plus tout autour de notre
34 maison de la Science mais dans la direction du monde des idées que nous cherchons à
35 atteindre par nos hypothèses et les modèles que nous dictent notre raison.

36 *Et si la Vérité n'existait pas ?*

37 La Vérité nous serait donc inaccessible ? Pour certain, elle est même inexistante. Le monde ne
38 serait que la somme de toutes les représentations à caractères humain. La vérité serait
39 fondamentalement subjective alors que la philosophie recherchait jusqu'à présent des
40 fondements objectifs sur lesquels appuyer notre raison.

1 **Notre liberté aussi est-elle aussi inaccessible ?**

2 *Quelques questions que l'on ne peut pas résoudre*

3 Quelle que soit l'approche, il nous faut donc distinguer la Vérité inaccessible (et peut-être
4 même inexistante) que nous « regardons par la fenêtre » des différentes façons dont nous
5 tentons de nous la représenter. Emmanuel Kant distingue « la chose en soi » sur laquelle nous
6 ne pouvons avoir aucune certitude et « la chose en moi » que l'on construit à partir de nos
7 expériences. Aussi, pour les problèmes fondamentaux, ceux qui ne s'appuient pas sur une
8 observation dans le monde sensible, notre raison tourne-t-elle « à vide ». Notre raisonnement
9 dans ce cas produira toujours deux thèses aussi probables l'une que l'autre. Kant cite quelques
10 exemples de questions que nous ne pouvons trancher ni avec l'observation, ni avec notre
11 raison. Il les appelle les « postulats de la raison pratique » : l'existence ou non de Dieu,
12 l'immortalité de l'âme, ou encore celle du libre arbitre.

13 *La chose en soi et la chose en moi*

14 Aïe ! Cela voudrait dire que notre enquête tourne mal. Nous ne pourrions plus utiliser le
15 raisonnement pour savoir si le libre arbitre existe ? La seule chose qui puisse encore nous
16 sauver serait que la question qui nous préoccupe ne soit pas si fondamentale que cela. Il
17 faudrait pour cela que nous puissions « l'observer », que nous puissions nous la représenter
18 sous diverses formes : par nos sens, modélisée par notre raison ou même pourquoi pas
19 simulée dans un univers numérique... Heureusement, nous verrons que les spécialistes de la
20 neurophysiologie arrivent à visualiser le moment où nous effectuons un choix dans notre
21 cerveau³¹. Nous avons même des modèles mathématiques qui offrent une représentation du
22 choix³². Nous devons cependant être vigilants, vérifier qu'avec notre approche
23 d'investigation policière « pseudo-scientifique », nous pouvons bien nous appuyer sur les
24 différentes « choses en moi » : nos sens, nos idées, notre raison ou notre simulation.

25 **Tant pis pour la Vérité, vive le pragmatisme !**

26 *A défaut d'atteindre la Vérité, ses représentations peuvent nous être utiles*

27 Avec un peu de pragmatisme après tout, cela n'est pas si grave... En cherchant la Vérité, nous
28 avons trouvé de multiples façons de nous représenter le monde qui nous permettent même
29 d'en voir le passé, le présent et le futur... Nous pouvons nous contenter de cette connaissance
30 bien utile. Pour certains nous pouvons même faire l'économie de nos hypothèses et de notre
31 raison et ne nous concentrer que sur des simulations numériques du monde. Il suffit la
32 première fois de vérifier dans le monde observable si nos modèles permettent bien de prévoir
33 des choses non encore observées et ensuite nous pouvons rester bien au chaud dans notre
34 représentation virtuelle...

35 *Faire du neuf*

36 Pourtant la pièce où il nous a semblé pouvoir apporter des choses nouvelles est celle de
37 l'hypothèse. Comme nous l'avons vu, l'abduction - le raisonnement qui permet d'imaginer
38 une cause à l'effet étudié - est le seul qui permet d'introduire des idées nouvelles. Mais le
39 monde des idées que nous voyons par la fenêtre de la pièce de l'hypothèse est vaste, comparé
40 à celui que nous observons par nos sens quelques étages en dessous. Pour notre démarche
41 scientifique, nous n'avons pas cherché à examiner toutes les idées mais uniquement celles qui

³¹ Voir chapitre 7, les pièges du choix

³² Voir chapitre 3, le monde est-il indéterminé ?

1 pouvaient être possibles comme cause d'un effet observé. Cette façon de sélectionner dans le
2 monde multiple des idées nous permet de distinguer la science de plusieurs autres disciplines :
3 • Le scientifique recherche des idées neuves et vraies applicables dans le monde matériel
4 objectif. Avec la science, on *découvre* un phénomène qui existait déjà dans les autres
5 représentations du monde.
6 • Le philosophe recherche des idées neuves et vraies dans les domaines subjectifs
7 (l'homme, la connaissance humaine...). Il utilise ensuite la logique pour en *comprendre*
8 les conséquences et donner du sens.
9 • En technologie, on recherche des idées neuves et utiles. Il s'agit d'*inventer* ce qui
10 n'existait pas avant
11 • L'artiste pour sa part recherche des idées neuves et fascinantes. Il *crée* alors en
12 transportant ces idées dans le monde sensible. « *L'art ne veut pas la représentation d'une*
13 *chose belle mais la belle représentation d'une chose*³³ »
14 Les idées que nous ramenons de ces divers périple sont très dépendantes de notre culture qui
15 nous donne un filtre qui nous facilite l'accès à certaines idées et nous en cache d'autres.

16 ***L'histoire au secours de notre subjectivité***

17 Ainsi, même si nous acceptons de conserver toutes les étapes de notre cycle scientifique il
18 reste un problème. Nos hypothèses dépendent de la façon dont nous voyons les choses, plus
19 précisément de la façon dont nous les percevons. En clair, tout est biaisé par nos idées a priori
20 nous dit Francis Bacon, cet homme d'état et philosophe anglais qui avait travaillé bien après
21 son homonyme Roger Bacon sur la méthode expérimentale. Nous focalisons notre attention
22 sur tel aspect si bien que nous regardons le monde avec un certain point de vue. De ce fait, la
23 façon dont nous sommes arrivés à attacher plus ou moins de valeur à certains aspects prend
24 toute son importance. L'histoire devient une composante indispensable dans notre quête
25 désespérée après cette vérité que nous ne pouvons pas atteindre. Saint Augustin, au Vème
26 siècle, fut le premier philosophe à prendre en compte l'histoire. Hegel bien plus tard fonde
27 l'historicisme : la philosophie devient avant tout un moyen de comprendre l'histoire. Marx
28 ensuite développe la jonction entre ces idées et la vision mécanique du monde. Le mécanisme
29 historique qu'il propose ne se contente pas des idées et propose de passer à l'action : « *les*
30 *philosophes se bornent à interpréter le monde alors qu'il s'agit de le transformer* ».

31
32 Finalement, si nous ne pouvons atteindre la Vérité objective, il nous reste deux choses :
33 prévoir ce que nos sens nous permettront de percevoir grâce à la science et comprendre
34 pourquoi nous ne voyons que certaines facettes du monde en fonction de nos a priori. Ce
35 dernier point est du domaine de la philosophie. Mais le philosophe lui-même est soumis à une
36 vision partielle des choses. Il risque en cherchant à comprendre l'histoire de chercher à en
37 justifier le présent pour le meilleur et pour le pire comme nous l'avons vu avec Jean-François
38 Lyotard et les post-modernes (voir page 33 « La fin des philosophes... »).

39 ***A la recherche du sens***

40 Mais alors si la Philosophie ne nous permet pas plus que la Science d'atteindre la Vérité, si
41 elle ne doit pas se servir de l'histoire pour justifier nos a priori, que lui reste-t-il ? Jean-Paul
42 Sartre, un des fondateurs de l'existentialisme au XXème siècle, considère que c'est à nous de
43 donner un sens à notre vie. Au départ nous existons, mais cette existence n'a pas de sens.
44 L'essence de cette existence, son sens, ne vient qu'ensuite en fonction de nos choix, de nos
45 actes. Finalement, la philosophie n'est peut être pas là pour trouver le sens du monde mais
46 pour nous aider à le choisir ?

³³ Emmanuel Kant, *Critique du jugement*,

1 **Notre vie a-t-elle encore un sens ?**

2 *Les dangers d'un monde prévisible*

3 A force d'interroger des témoins différents, principalement la philosophie et la science dans
4 cette première étape, nous arrivons à un problème : la philosophie veut nous aider à trouver
5 du sens pour nous aider à choisir, et la science veut nous aider à avoir une vision du monde
6 que nous pouvons appréhender avec nos sens et qui soit prévisible. Mais si le monde est
7 entièrement prévisible alors nous n'avons pas de choix possible, tout ce que nous pouvons
8 faire c'est regarder par la fenêtre du train en marche un peu en avant ou en arrière des voies...

9 *Dernière tentative pour retrouver la liberté dans un monde prévisible*

10 Pouvons-nous nous en tirer par une pirouette ? Le poète romantique allemand Schiller,
11 considère que l'activité artistique est un jeu où l'homme est libre car il invente ses propres
12 règles. Nous aurons sûrement à interroger les arts dans notre investigation. Mais si tout est
13 prévisible, même l'activité humaine comme semble nous le dire la méthode expérimentale
14 scientifique, alors l'art n'est qu'une illusion ? Pour Kant, l'homme est libre car nous
15 obéissons à une loi morale que nous nous sommes imposés à nous-même. Mais avons-nous
16 vraiment le choix ? Par quelque côté que nous prenions la question, la seule possibilité de
17 sauver encore un peu de libre arbitre est de sacrifier un peu de prévisibilité. L'approche de
18 Descartes est-elle absolue ? Existe-t-il des phénomènes qui ne peuvent pas être prévus, sur
19 lesquels nous pourrions encore faire un choix entre deux directions ?

20 *Notre prochaine question : la prévisibilité du monde*

21 La prochaine étape de notre investigation portera donc sur la prévisibilité. Nous chercherons
22 parmi les travaux scientifiques si certains nous permettent parfois d'abandonner la sacro-
23 sainte idée que tout est déjà écrit. Il nous reste encore une petite chance que notre capacité de
24 choix n'ait pas été assassinée mais qu'elle se soit seulement perdue dans les méandres de
25 notre évolution. Accrochons nous à cet espoir ténu.

1

2 **Rapport d'enquête**

3 *Sur les lieux du crime*

4 Il est temps de faire un premier point pour savoir où nous en sommes de l'enquête dans
5 laquelle nous nous sommes lancés. Où est passé notre libre arbitre ? A-t-on assassiné notre
6 avenir pour le remplacer par un futur tout tracé où nos choix eux-mêmes sont déterminés à
7 l'avance ?

8

9 Comme il se doit, nous avons fait un premier tour sur les lieux du crime : le pays de la
10 connaissance. Nous avons cherché à en répertorier les habitants. Nous avons ainsi découvert
11 qu'il existait des moyens d'agir consciemment pour acquérir personnellement de la
12 connaissance avec la Science et la Philosophie, mais qu'elle pouvait également être transmise
13 par une personne extérieure par apprentissage et mimétisme. Nous avons également rencontré
14 des connaissances transmises inconsciemment, délivrées par notre subconscient, dans le cas
15 par exemple de l'inspiration artistique.

16 *Examen minutieux de la maison de la Science*

17 Je vous ai alors entraînés dans la maison de la science. Comme plusieurs autres maisons de
18 connaissances elle comprend plusieurs étages qui permettent de remonter à la cause en partant
19 des effets observés. Pour cela nous sommes passés de l'observation à la généralisation grâce
20 au procédé de l'induction : à force d'observer le même phénomène nous lui donnons une
21 portée plus universelle. Nous sommes ensuite remontés jusqu'à la cause (ou plutôt à une des
22 causes possibles) de ce phénomène considéré comme général en utilisant cette fois
23 l'abduction : une loi de la nature que nous considérons comme juste donnerait l'effet observé
24 si on l'appliquait à notre hypothèse. Celle-ci est donc une bonne candidate pour être la cause
25 que nous recherchons. Au passage, nous avons pu voir que la fenêtre de la pièce des
26 hypothèses était orientée dans une autre direction. Elle nous donnait une tout autre vision du
27 monde, remplaçant le monde sensible de l'observation par le monde multiple des idées.

28

29 Mais nous sommes alors tombés sur un drame ! Nous ne pouvons, par l'observation, que
30 définir des propositions particulières (*il existe des lapins avec une queue*) alors que les
31 théories sont composées de propositions universelles (*tous les lapins ont une queue*). Il nous
32 est donc interdit de démontrer une théorie par l'observation. Non seulement nous ne pourrions
33 jamais être absolument sûres que tous les lapins ont une queue, mais en plus, nous ne pouvons
34 pour l'instant que faire des hypothèses sur la cause de ce phénomène, sans savoir si nous
35 avons trouvé la vraie cause de ce phénomène. Plusieurs maisons de connaissances s'arrêtent
36 là - après avoir trouvé une cause, elles imposent de redescendre par le même chemin pour
37 démontrer que cette cause produirait bien cet effet général et donc l'effet particulier observé.
38 La maison des mythes et celle de la « discussion de comptoirs » sont ainsi faites...

39 *Chaque recoin a été fouillé*

40 Par bonheur, la maison de la science recèle une astuce : nous sommes redescendus par un
41 autre chemin pour voir si notre hypothèse permettait non seulement d'expliquer les différents
42 effets déjà observés mais d'en prévoir de nouveaux encore jamais observés. Nous aurions
43 alors un moyen de vérifier si notre hypothèse permet de faire des prévisions, ce qui serait un
44 bon indice que c'est la véritable cause recherchée... à défaut de pouvoir vraiment le
45 démontrer formellement. Pour cela, nous avons utilisé les mathématiques qui ont ce pouvoir
46 de prévision. Mais traduire dans ce langage impose d'avoir des nombres. Nous avons donc du

1 emporter avec nous depuis la pièce de l'observation des mesures précises. Une fois tout en
2 haut, dans la salle des hypothèses, nous sommes passés dans la pièce d'à côté pour modéliser
3 notre hypothèse candidate sous forme d'une équation mathématique. La fenêtre donnait une
4 image assez différente de ce côté-ci du monde - proche de celle des philosophes qui utilisent
5 la logique pour se faire une représentation du monde par la « pensée ». Une fois notre formule
6 mathématique en poche, nous avons pu redescendre d'un étage pour faire différentes
7 simulations du monde grâce au calcul numérique. Bien que cette pièce ne soit régie le plus
8 souvent que par des ordinateurs, on y trouve de nombreuses personnes, fascinées par la vision
9 des mondes virtuels qu'offre la fenêtre. Elle restent là, considérant que l'on peut faire
10 suffisamment confiance à la formule pour ne plus avoir que le monde simulé comme unique
11 représentation du monde. Au pire, lorsque la théorie ne colle plus parfaitement à l'observation
12 il suffit de rajouter une rustine à l'équation mathématique et le tour est joué. Nous avons
13 cependant parachevé notre visite en redescendant au rez-de-chaussée dans la pièce de
14 l'expérimentation, voisine de notre observation de départ.

15 *Les contraintes de la démarche scientifique*

16 Notre parcours nous a montré diverses représentations du monde. Celle que nous donnent nos
17 sens (le monde sensible ou l'étendue comme la nomme Spinoza) ; le monde des idées qui
18 présente différentes causes possibles ou imaginaires ; les multiples dialectes logiques et
19 mathématiques qui offrent une vision modélisée du monde ou encore la simulation qui utilise
20 des nombres pour représenter le monde. Mais nous n'avons observé le monde que depuis les
21 fenêtres. Ce monde aux multiples représentations existe-t-il ? Y a-t-il une et une seule Vérité
22 que nous aurions à découvrir ? La science ne nous a pas permis de le savoir. Tout ce que nous
23 pouvons dire est que nous observons différentes représentations qui semblent former un tout
24 cohérent.

25
26 A défaut d'avoir trouvé la Vérité, la Science nous a apporté des réponses utiles, bien au-delà
27 de l'approche mythique qui se limitait aux premières pièces. Nous ne rentrons donc pas
28 bredouille. Au passage, nous avons pu observer que la démarche scientifique, pour
29 fonctionner, impose un certain nombre de contraintes :

- 30 • Pour faire de la science, il faut que les phénomènes puissent être observés consciemment
31 et de façon suffisamment répétitive pour pouvoir faire des inductions. Mais tous les
32 phénomènes sont-ils reproductibles ?
- 33 • Ces phénomènes doivent également être mesurables pour pouvoir utiliser les
34 mathématiques. Tout est-il mesurable, même si nous n'avons pas encore les instruments
35 pour le faire ?
- 36 • La démarche scientifique a besoin de la prévisibilité mais le monde est-il entièrement
37 prévisible ? Nous aurions alors totalement perdu notre capacité à choisir...
- 38 • Et enfin nous devons pouvoir faire des expérimentations, ce qui n'est pas toujours
39 possible dans les sciences humaines par exemple.

40 Finalement la démarche scientifique que nous avons décrite ne s'applique dans toute sa
41 rigueur qu'à certains domaines comme la mécanique newtonienne.

42 *Dans l'ombre se cachent des trésors*

43 Cela fait penser à l'histoire de cet homme penché par terre sous un réverbère. Un deuxième
44 homme arrive et lui demande :

- 45 - Que faites vous ?
- 46 - Je cherche mes clés répond le premier homme
- 47 - Mais pourquoi ne cherchez-vous que sous le réverbère ?
- 48 - Parce qu'ici il y a de la lumière !

1
2 Si nous voulons découvrir des choses nouvelles, nous allons devoir aller aux limites du rond
3 de lumière rassurant de la Science actuelle pour découvrir s'il existe des phénomènes non
4 répétitifs, non mesurables, non prévisibles ou non expérimentaux. Notre capacité de choix est
5 peut-être tapie dans l'ombre. Mais en quittant les lumières de la Science, nous risquons de
6 nous perdre dans l'obscurantisme. Notre seule solution est d'y aller très progressivement en
7 regardant ce que la Science connaît de ses propres limites. Nous allons donc quitter les
8 époques anciennes où la Science et la Philosophie étaient souvent indissociables pour aborder
9 les laboratoires modernes. Certains nous apporteront des réponses dès le début du XXème
10 siècle. Dans d'autres cas, nous devons faire appel aux théories les plus récentes.
11
12 Mais puisque notre statut d'enquêteur nous donne le droit d'interroger qui nous voulons,
13 commençons dans le monde imaginaire des idées avec la suite des aventures de Philibert...

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

2^{ème} partie - Le monde est-il imprévisible ?

Version 3.2 du vendredi 23 février 2007

*« L'intelligence, c'est l'imprévisible »
Michel Serres*

1

2 Philibert : En route !

3

Encadré 10 - Philibert et son troupeau*

4

[Dessin à ajouter : Dessin de Philibert et de son troupeau, au fond de la vallée, face au coude de la montagne]

5

6

7

8

« Allez, on y va ! » dit Philibert avec un léger trémolo dans la voix qui contrastait avec sa feinte assurance. Cookie, un berger des Pyrénées, se mit à gambader joyeusement, tournant autour des brebis pour les rassembler. Hier encore, rien ne prédestinait ce garçon de 13 ans aux cheveux roux et au teint maculé de taches de rousseurs, à se retrouver responsable du troupeau de son oncle. Il était arrivé tout juste la veille de la ville pour passer quelques jours chez Henri, le frère aîné de sa mère, qu'il n'avait pas revu depuis sa petite enfance. En arrivant, il avait trouvé cet homme qu'il se rappelait grand au teint hâlé, allongé dans son lit, terrassé par une mauvaise grippe.

16

- C'est la première fois en vingt ans que je ne peux pas me lever pour aller faire paître mon troupeau, dit Henri. J'aurais aimé te faire découvrir ma vie au grand air, mais tu vas devoir conduire toi-même le troupeau.

18

- Mais je n'ai jamais fait cela et je ne connais pas la région, répondit rapidement Philibert avec une pointe de panique.

19

- Cookie connaît parfaitement son travail. Tu n'auras qu'à avancer d'un pas tranquille et il ira d'une bête à l'autre pour qu'elles te suivent. Quant à la route à prendre, il te suffit de suivre le chemin qui se dirige vers les montagnes.

20

21

Vêtu d'un jeans neuf et d'un sweat-shirt tout propre, le jeune berger néophyte prit le chemin qui quittait la ferme de son oncle, suivi par les brebis, sous l'œil vigilant de Cookie. Il regardait le chemin serpenter à distance dans la plaine. Parfois, il devait faire un effort pour discerner au loin la route à moitié cachée par les herbes et les arbres épars. Juliette, la plus espiègle des brebis, occupait particulièrement l'attention de Cookie. Au fur et à mesure que les premières heures de la journée s'égrenaient, le regard de Philibert devint plus entraîné pour retrouver le sentier à distance malgré les champs qui lui cachaient la vue. Bien sûr, il ne risquait pas de se tromper car la route sous ses pieds était bien tracée, mais il se rassurait en regardant loin devant ce fil d'Ariane qui le guidait comme lui-même guidait les brebis.

24

25

Alors que le soleil s'élevait dans le ciel, il arriva près des montagnes. Les cailloux parsemés de plaques d'herbes remplaçaient peu à peu les champs de blé méticuleusement entretenus et la route s'engouffra toute droite dans un défilé. Les versants de la montagne s'écartèrent pour laisser passer la petite troupe tandis que quelques brebis s'égayèrent sur les flancs sans aller bien loin car la pente était rude de chaque côté. Alors qu'il prenait de l'assurance, le jeune berger distingua au loin un coude dans la vallée. Malgré tous ses efforts, il ne pouvait plus discerner la suite du chemin caché par un pan de montagne. Seule la route sous ses pas pouvait encore le guider. Bien sûr, son regard conservait un peu d'avance, mais son assurance fondait à mesure que l'angle de la montagne se rapprochait, amenant avec lui l'inconnu.

45

46

Les brebis sentirent la confiance du garçon chanceler et donnèrent plus de fil à retordre à Cookie. Le chien ne se rendit compte de rien, accaparé par le surcroît d'effort. Pour la

47

1 *première fois depuis le départ, Philibert n'avait plus que le chemin sous ses pieds pour le*
2 *guider.*

1

2 **Une science basée sur la prévision**

3 **Retour sur la maison de la science**

4 *A la recherche d'une bonne théorie*

5 Notre petite visite dans la maison de la science nous a appris qu'il n'est pas possible de
6 démontrer formellement une loi (une proposition universelle) avec des observations (des
7 propositions particulières). Nous avons alors décidé que si une loi est capable de faire des
8 prévisions justes et vérifiées, cela nous donnerait une indication qu'elle reflète
9 convenablement la Vérité... à défaut de savoir s'il peut même exister une Vérité. C'est un
10 résultat un peu décevant, mais incomparablement meilleur que l'approche mythique qui se
11 contente des trois premières étapes (il suffit d'imaginer une cause plausible pour qu'elle
12 puisse être considérée comme vraie). La philosophie qui, au début, était inséparable de la
13 science, a cherché elle aussi une approche aussi efficace avec en particulier René Descartes
14 qui voulait mettre en place une méthode philosophique proche des mathématiques, puis Georg
15 Wilhem Friedrich Hegel qui cherchait à atteindre la vérité absolue objective en comprenant
16 l'impact de l'histoire sur ce que nous percevons (la part subjective).

17

18 Le revers de la médaille est que nous ne pouvons pas nous contenter d'une seule visite à la
19 maison de la science. En effet, une loi scientifique est considérée comme vraie... jusqu'à ce
20 que l'on se rende compte qu'elle ne l'est pas. Comme nous l'avons vu, la première pièce
21 dédiée à l'observation permet surtout de montrer qu'une loi est fautive. A défaut de pouvoir
22 vérifier que TOUS les cas particuliers sont bien conformes à la loi, il suffit d'en trouver un
23 seul qui ne suit pas parfaitement ce que nous attendons pour que nous soyons bon pour un
24 nouveau tour dans la maison de la science afin d'y chercher une théorie plus juste.

25 *Revenir pour affiner les lois*

26 Toutes ces remises en causes ne sont pas catastrophiques. Bien souvent, il s'agit de trouver
27 une loi plus générale dont l'ancienne est un cas particulier ou une approximation. Les progrès
28 de notre science nous ont permis ainsi de prévoir de mieux en mieux un certain nombre de
29 phénomènes. Isaac Newton, en découvrant la similarité entre la chute d'une pomme et le
30 mouvement des planètes en découvrit la loi fondamentale : la gravitation universelle. Nous
31 pensions alors que notre capacité à prévoir loin en avant la trajectoire d'une pomme ou d'une
32 planète ne dépendait que de la précision de nos mesures sur la position et la vitesse de départ
33 des différents corps.

34

35 Newton a été détrôné par Albert Einstein, mais la relativité générale du second a tout de
36 même montré que si les masses ne sont pas trop importantes, la théorie de la gravitation
37 universelle du premier est une bonne approximation. Les grandes masses par contre,
38 « déforment » l'univers et la loi de Newton ne s'applique plus. Einstein n'a pas modifié
39 fondamentalement la trajectoire des planètes, mais il a permis de préciser certains
40 phénomènes plus fins. La relativité générale est simplement plus juste et plus précise que la
41 gravitation générale.

1 **Tout est-il prévisible ?**

2 *Un monde de mécaniciens*

3 Les succès de la prévision scientifique en mécanique se sont propagés à d'autres domaines de
4 la physique tel que l'électromagnétisme. D'autres sciences ont rencontré des succès avec des
5 modèles prédictifs. Outre les sciences dites « dures », les sciences du vivant et dans une
6 certaine mesure les sciences humaines et sociales ont suivi les traces initiées par la mécanique
7 de Newton. Petit à petit des pans entiers de la connaissance humaine sont devenus prévisibles.
8 Dans l'esprit de certains, les phénomènes qui résistaient encore n'attendaient qu'une bonne
9 théorie et des mesures précises pour les conditions initiales.

10

11 Les succès même de la vision mécaniste nous ont donné l'impression que tout pouvait être
12 prévu. Ils nous ont rassurés en nous ouvrant les portes d'un avenir tracé qu'il suffisait
13 d'apprendre à lire, ce que la science s'employait à faire. A mesure que la foi dans la science a
14 remplacé la religion, nous n'avons pas perdu notre besoin de nous sentir rassurés. Pourtant, au
15 contraire, l'avancée des sciences est basée sur le doute, la remise en question des anciennes
16 certitudes et la recherche de nouvelles solutions.

17

18 Petit à petit, toute notre civilisation s'est développée sur cette idée que l'on peut prévoir tout
19 ce qui va arriver avec suffisamment de science. Depuis l'organisation du travail dans les
20 entreprises de l'ère industrielle jusqu'à la planification des grands projets d'aménagement par
21 les pouvoirs publics, tout n'est qu'une question de qualité de la prévision. Même les
22 économistes ont recherché longtemps les lois qui permettraient à coup sûr de relancer la
23 croissance et d'assurer le plein emploi. Nos limitations ne seraient dues qu'à notre
24 méconnaissance des lois qui resteraient encore à découvrir et à la précision de nos instruments
25 pour mesurer la situation présente. La science et l'intelligence humaine devaient, à n'en pas
26 douter, arriver à bout rapidement de ces difficultés.

27

28 Mais prévoir avec justesse quelques phénomènes variés ne veut pas dire que le monde dans sa
29 totalité est accessible depuis notre point d'observation : le présent.

30 *A la recherche de nouveaux indices*

31 Depuis les différentes pièces de la maison de la science, nous avons pu observer le paysage du
32 dehors selon quatre grandes directions. Nous avons ainsi découvert le monde « sensible »,
33 celui que nous pouvons connaître par nos sens, depuis les fenêtres des pièces de l'observation
34 et de l'expérimentation au rez-de-chaussée. En regardant dans une autre direction, nous avons
35 vu le monde sous une forme plus virtuelle depuis la salle de la simulation : ce ne sont plus nos
36 sens mais une suite de nombres qui servent cette fois à représenter le monde. Depuis la pièce
37 des hypothèses, tout en haut de la maison, nous avons contemplé les mondes imaginaires,
38 parmi lesquels nous avons dû distinguer ceux qui sont possibles, c'est à dire cohérents avec ce
39 que nous observons. Enfin, dans la pièce d'à côté où se passe la modélisation, nous avons
40 retrouvé tous ces mondes imaginaires sous formes de lois mathématiques qui permettent de
41 « fabriquer » les mondes de nombres virtuels.

42

43 C'est en particulier la capacité de prévision de ce dernier monde, celui des mathématiques,
44 qui nous a permis de sauver la démarche scientifique. Mais existe-t-il des phénomènes dans la
45 nature qui ne seraient pas prévisibles ? Et dans ce cas, peut-on tout de même les traiter
46 mathématiquement ?

47

1 Comme nous l'avons vu, nous ne trouverons pas le corps de la victime - le libre arbitre - dans
2 un lieu où tout est prévisible. Nous allons donc sortir ensemble de la maison de la science et
3 nous intéresser aux jardins alentour à la recherche de phénomènes imprévisibles. Nous
4 devons pour cela commencer dans la direction du monde sensible que nous pouvons
5 observer, mais nous irons aussi faire un tour dans la direction opposée, celle des lois
6 mathématiques pour comprendre comment elles peuvent être mises en défaut. Ouvrez bien les
7 yeux, les indices peuvent se cacher n'importe où !

1

2 **Premier problème : le monde c'est le chaos !**

3 **Rencontre avec un Météorologiste**

4 *Le pouvoir des papillons...*

5 Nous voici donc dans le jardin. Derrière un bosquet, nous rencontrons un homme le nez en
6 l'air à regarder les nuages. Abordons-le.

7 - Je suis météorologiste - répond-il - je cherche à prévoir le temps qu'il fera les prochains
8 jours et si possible au-delà.

9 - Y a-t-il une limite théorique à votre capacité de prévoir le temps ou bien n'êtes-vous
10 restreint que par le nombre de mesures que vous pouvez réaliser et la puissance de vos
11 ordinateurs ?

12 - Oh ! Vous savez, suivant la théorie bien connue du grain de sable qui peut bloquer les plus
13 parfaites machines, il faut toujours se méfier des petits riens !

14 Notre homme nous explique comment les années 1970 ont bien modifié notre façon de voir
15 les choses.

16

17 Un papillon est venu perturber notre capacité absolue de prévoir le futur... Edward N.
18 Lorenz, célèbre météorologiste au M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), a montré
19 que même si nous connaissions les lois qui régissent les masses d'air, un simple battement
20 d'aile de papillon suffit à créer un ouragan à l'autre bout du monde³⁴. En effet, les lois
21 utilisées en météorologie sont très sensibles : il suffit d'une infime variation d'un seul
22 paramètre pour rapidement obtenir une grande différence de temps à l'arrivée. Pourtant, dès la
23 quatrième ligne, l'auteur précise que si un battement d'aile de papillon au Brésil peut
24 provoquer une tornade au Texas, alors les battements d'aile suivants aussi, ainsi que tous les
25 battements d'aile de tous les papillons du monde, pour ne pas évoquer les activités de toutes
26 les autres créatures, espèce humaine comprise. Il s'ensuit d'ailleurs que si le battement d'aile
27 d'un papillon pouvait provoquer une tornade, le suivant pourrait l'empêcher... Dans ces
28 conditions, qu'a voulu dire Lorenz ? Imaginons deux Terres absolument identiques en tout.
29 Un seul détail rompt cette harmonie : un battement d'aile de papillon au Brésil dans l'un des
30 deux mondes. Et dans ces conditions, par le jeu infini des chaînes de causalité, une tornade
31 pourrait, peut-être, éclater au Texas de ce monde, et non dans l'autre, quelques mois plus tard.
32 Lorsque l'on « fait tourner » les modèles mathématiques utilisés pour la prévision
33 météorologique, il faut les alimenter avec les données recueillies au présent - les « conditions
34 initiales » - afin obtenir les prévisions des jours suivants. Ces données sont récoltées grâce à
35 des stations de mesure de la température, de la vitesse du vent, etc. réparties sur la surface du
36 globe et grâce à des observations par satellites. Mais il n'est pas possible de mettre une station
37 de météorologie tous les centimètres et la précision des satellites, bien que très grande, est
38 limitée. Notre connaissance des conditions initiales dépend donc de nos instruments. Pourtant
39 une infime variation non mesurable (le battement d'aile du papillon) peut donner des résultats
40 qui eux sont tout à fait visibles (l'ouragan).

³⁴ En 1972 Edward Lorenz présente "Prédictibilité : le battement d'aile d'un papillon au Brésil peut-il déclencher une tornade au Texas ?" devant l'Association Américaine pour le progrès des Sciences

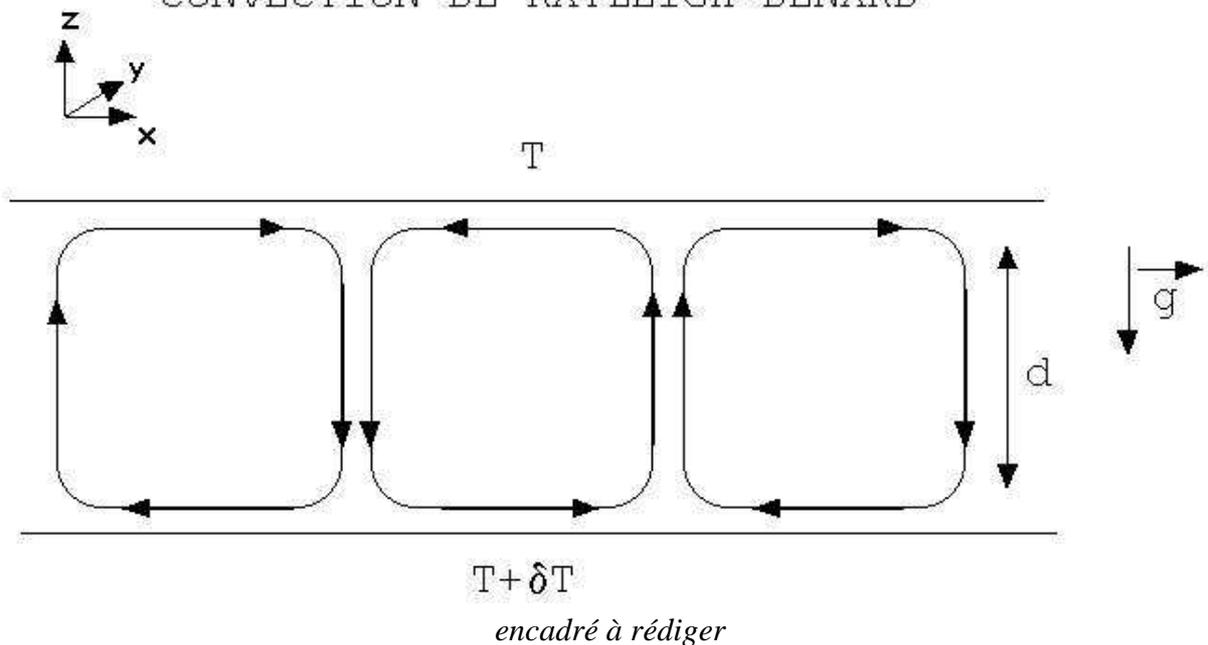
1 **... et le pouvoir de Bénard...**

2 La théorie du papillon et de l'ouragan en météorologie selon Edward Lorenz est souvent citée
3 comme exemple de ce que l'on appelle la théorie du chaos : *les résultats obtenus par un*
4 *modèle chaotique varient très fortement en fonction d'infimes variations des conditions*
5 *initiales*. Mais les scientifiques se sont rendu compte également que certains phénomènes plus
6 globaux venaient s'ajouter à l'effet papillon. Lorsqu'il existe une différence de température
7 suffisante entre les couches hautes et les couches basses de l'atmosphère, l'air se met en
8 mouvement. Il grimpe à certains endroits et redescend à d'autres pour transférer la chaleur
9 suivant un processus appelé la « convection ». Mais ce mouvement est loin d'être aléatoire,
10 l'air s'organise en une succession de courants ascendants et descendants. Entre chaque
11 courant se forment des « cellules de Rayleigh-Bénard ». Ainsi, s'il n'est pas possible de
12 connaître précisément le temps qu'il fera sur le moyen terme, on assiste à des phénomènes
13 organisés à grande échelle qui permettent d'avoir une idée au moins générale de l'évolution
14 du temps sur le long terme. On retrouve ce type de phénomène émergeant très couramment en
15 mécanique des fluides. Le Centre Africain des Applications de la Météorologie pour le
16 Développement (ACMAD), peut ainsi construire des modèles météorologiques qui donnent
17 une idée plusieurs mois à l'avance de ce que sera la saison des pluies. Le paradoxe est que si
18 les mécanismes du chaos nous empêchent de prévoir ce qui va se passer, d'autres mécanismes
19 plus globaux restabilisent le temps sur le long terme et permettent au moins de retrouver des
20 grandes tendances³⁵. Cela ressemble au conducteur d'une voiture dont on ne peut pas savoir à
21 l'avance l'itinéraire qu'il va emprunter mais dont on aurait une idée assez bonne de la
22 destination.

23

Encadré 11 - Convection et cellules de Rayleigh-Bénard*

CONVECTION DE RAYLEIGH-BENARD



24

25

26

encadré à rédiger

³⁵ Raoul Robert - La météorologie, un système complexe ? Pour la Sciences n°314 p140

1 ***Le court et le long terme : deux poids deux mesures***

2 Les phénomènes chaotiques sont parfois comme « attirés » vers une solution plus globale.
3 Nous l'avons vu en météorologie, où les masses d'air s'organisent en grandes cellules entre
4 lesquelles se trouvent des courants ascendants et descendants. On retrouve également cette
5 organisation à grande échelle avec un phénomène que l'on appelle la force de Coriolis. Grâce
6 à cette force un peu étonnante, les vents sur une planète qui tourne sur elle-même comme la
7 nôtre, ont tendance à tourner dans un sens dans l'hémisphère nord et dans l'autre sens dans
8 l'hémisphère sud. Nous passons du chaos à notre échelle de temps et d'espace à une
9 organisation visible sur le long terme et sur des espaces plus grands.

10
11 Il semble que nous ayons sauvé le monde de l'imprévisibilité qui nous fait si peur ! Pourtant,
12 le ver est dans le fruit. Même si les effets de la théorie du chaos semblent pouvoir être
13 compensés sur le long terme, cela ne nous permet pas de connaître précisément ce qui va se
14 passer sur le court terme. Heureusement, à défaut de tout prévoir, nous connaissons la saison
15 et les lieux où se forment les cyclones. Nous pouvons également essayer de prévoir
16 approximativement leur route quelques heures à l'avance. Qu'en est-il des autres sciences ?
17 Combien de temps à l'avance peut-on prévoir une éruption volcanique ou un séisme ? Je vous
18 propose maintenant de convoquer pour témoigner sur ce sujet, le volcanologue Jacques-Marie
19 Bardintzeff qui a visité la plupart des volcans actifs de la planète. Parallèlement à ses activités
20 scientifiques, il s'agit également d'un vulgarisateur infatigable qui s'est beaucoup investi pour
21 la diffusion des connaissances.

22 **Encadré 12 - Témoignage de Jacques-Marie Bardintzeff : Du cyclone au séisme*.**

23
24 *[Interview à réaliser]*

25 *Contrairement à l'image de l'effet papillon, les cyclones sont prévisibles sur quelques jours,*
26 *mais l'éruption des volcans ne peut être prévue que 24 à 48 heures à l'avance et les séismes*
27 *sont des phénomènes de rupture difficilement prévisibles. Est-ce la précision de nos*
28 *instruments qui est en cause ou bien une imprévisibilité fondamentale ?*

29
30 *Présentation sommaire de Jacques-Marie Bardintzeff*

31
32 Question 1 : Jacques-Marie Bardintzeff, sait-on prévoir l'éruption des volcans très longtemps
33 à l'avance ?

34
35 Question 2 : Existe-t-il des phénomènes encore plus imprévisibles dans la nature ?

36
37 Question 3 : L'amélioration régulière de la précision de nos instruments de mesure nous
38 permettra-t-elle de retrouver une prévisibilité à long terme pour certains phénomènes
39 exceptionnels de la nature ?

40 **Physique : Des trajectoires instables prémices à la théorie du chaos**

41 ***Un histoire déjà ancienne***

42 Comme nous l'avons vu, certains phénomènes peuvent sembler totalement imprévisibles à
43 court terme bien que l'on puisse avoir une idée, au moins statistique, de ce qui se passe sur le
44 long terme. Pour bien comprendre comment cela est possible, nous devons continuer notre
45 investigation dans les jardins de la maison de la science et remonter aux premières
46 observations qui ont conduit à cette idée.

47

1 L'expression « théorie du chaos » a été proposée par Tien-Yien Li et James A. Yorke en
2 1975³⁶, quelques années après l'article d'Edward Lorenz sur l'effet papillon. Mais
3 l'observation de ce type de phénomène a commencé bien avant cette date, grâce notamment à
4 la mécanique céleste.

5 ***Quand un caillou fait des choses étonnantes dans l'espace***

6 Au XIX^{ème} siècle, James Clerk Maxwell, physicien écossais et Henri Poincaré,
7 mathématicien français, se sont penchés sur d'étonnants phénomènes : les « trajectoires
8 instables ». Imaginons un caillou lancé dans l'espace entre la Terre et la Lune. Pour certaines
9 positions et vitesses de départ, les résultats sont simples : le projectile est satellisé autour de
10 l'un ou l'autre des deux astres. Dans d'autres cas, la pierre va tourner alternativement autour
11 de la Terre et de la Lune en formant des « huit ». Mais pour certaines conditions initiales très
12 précises, la trajectoire du caillou est bien plus complexe. Il va tourner successivement autour
13 de la Lune, puis de nouveau autour de la Lune avant de tourner autour de la Terre, de revenir
14 autour de la Lune puis de tourner trois fois autour de la Terre, etc. La succession des astres
15 autour desquels tourne notre caillou semble due au hasard : Lune, Lune, Terre, Lune, Terre,
16 Terre, Terre, etc. Pourtant, avec la vitesse et la position de départ des trois protagonistes, les
17 lois de la mécanique céleste nous permettent de prévoir cette trajectoire très précisément. Il ne
18 s'agit donc pas d'une trajectoire aléatoire. Bien que la succession des corps autour desquels
19 tourne le caillou semble due au hasard, il s'agit d'un phénomène déterministe et prévisible qui
20 peut être retrouvé en appliquant une loi (une équation mathématique) à partir de conditions
21 initiales.

22 **Partout du chaos et de l'étrange !**

23 ***Des économistes, des chimistes et des chiens...***

24 En plus de donner l'apparence du hasard, ces trajectoires instables ont une autre particularité :
25 une minuscule modification de la position ou de la vitesse au départ du caillou, de la Lune ou
26 de la Terre change complètement la trajectoire qui en résulte. Nous retrouvons une des
27 premières représentations de ce qui fut appelé bien plus tard le chaos. Ce type de phénomène
28 fut progressivement découvert dans de nombreuses sciences³⁷. Maxwell de nouveau puis
29 Ludwig Boltzmann, physicien autrichien, découvrirent certaines propriétés des gaz qui les
30 contraignirent à utiliser la théorie des probabilités tant les résultats étaient difficiles à
31 reproduire. Les mathématiciens et physiciens russes se penchèrent également sur ces
32 phénomènes, tel Alexander Lyapunov en 1892. Mais c'est surtout avec l'arrivée de la
33 mécanique non linéaire à partir des années 1930 que les exemples se multiplièrent. Les
34 équations utilisées dans ce cas sont moins faciles à appliquer car, par exemple, l'effet de la
35 somme de deux forces est différent de la somme de leurs effets.

36
37 Aujourd'hui, l'action du chaos se retrouve partout. On connaît des trajectoires instables en
38 hydrodynamique (les turbulences), en démographie, en économie, en optique, en chimie, en
39 physique et ... en psychologie. Par exemple, lorsque l'on observe un chien acculé contre un
40 mur et qu'il a peur, il dispose de trois choix possibles : fuir, attaquer ou ne rien faire³⁸. Une
41 infime différence dans la situation de départ lui fera adopter l'une ou l'autre des réactions,
42 mais une fois qu'il aura commencé à attaquer ou à fuir, il le fera totalement !

³⁶ « Period three implies chaos » Amer. Math. Monthly, Vol 82, (1975), N°10, pp 985-992.

³⁷ Voir François Lurçat, « L'idée du Chaos », in Sciences et Avenir numéro spécial : Les grandes idées du siècle, décembre 1999 / janvier 2000

³⁸ Alain Berthoz, « La décision », Odile Jacob, Paris 2003

1
2 La théorie du chaos a introduit de l'imprévisible dans la science du fait de notre incapacité à
3 disposer d'une mesure absolue des conditions de départ et de la sensibilité des équations à
4 d'infimes variations.

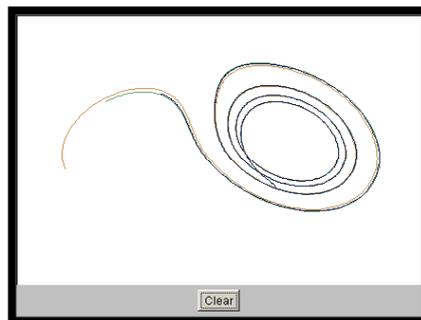
5 *La science introduit de l'étrange*

6 Dans l'exemple des trajectoires d'un caillou, celui-ci tourne de façon logique autour d'un des
7 deux astres : la Terre ou la Lune. Mais on retrouve ce phénomène même lorsqu'il n'y a rien
8 autour duquel on puisse tourner. Ainsi, Edward Lorenz, a-t-il pu suivre la trajectoire de l'air
9 dans un phénomène de convection. Celui-ci tourne autour d'une cellule de Rayleigh-Bénard
10 ou d'une autre de façon chaotique. Tout se passe comme s'il était attiré par des points au
11 centre des cellules auxquels on donne alors le nom « d'attracteurs étranges³⁹ ».

12 ***Encadré 13 - Les attracteurs étranges : Lorenz est abonné aux papillons !***

13
14 Edward Lorenz voulu modéliser de façon simplifiée un phénomène de convection dans une
15 boîte chauffée par le bas afin d'avoir une différence de température avec le haut. En se
16 limitant à une simple boîte fermée, il put transformer l'ensemble de douze équations qui
17 étaient normalement nécessaires pour calculer la trajectoire de l'air, en seulement trois
18 équations plus faciles à modéliser. Pour une taille bien précise de la boîte, la trajectoire de
19 l'air suit une courbe étonnante qui tourne sans ordre apparent parfois autour d'un point et
20 parfois autour d'un autre. L'ensemble donne l'image générale... d'un papillon (peut être cette
21 forme l'a-t-elle influencé pour sa célèbre conférence, quelques mois plus tard, qui prenait
22 pour exemple l'effet d'un papillon sur les ouragans...)

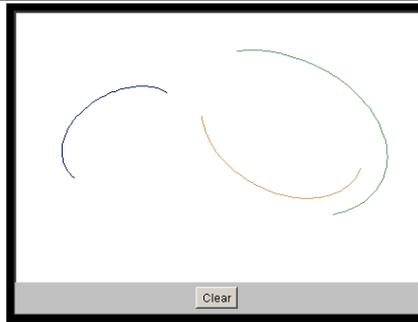
23
24 De plus, si l'on modifie de façon à peine sensible la position de départ, la courbe prend
25 rapidement une trajectoire totalement différente. Mais le résultat d'ensemble sera toujours le
26 même « papillon » et l'air tournera toujours autour de deux points, comme s'il était attiré par
27 eux (comme dans le cas des trajectoires instables de Maxwell et de Poincaré que nous avons
28 vues). Ces deux points sont appelés des attracteurs étranges.



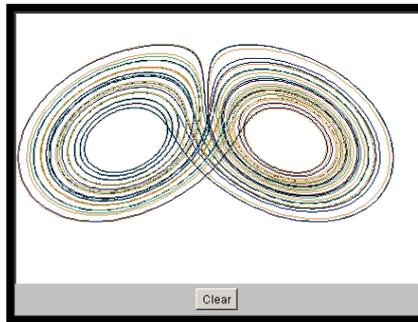
30
31 -1- Au début, si on suit trois molécules d'air ayant des conditions initiales presque identiques,
32 on constate qu'elle suivent des trajectoires très semblables⁴⁰.

³⁹ Expression utilisée pour la première fois en 1971 par David Ruelle et Floris Takens

⁴⁰ Pour faire vous même l'expérience, vous pouvez aller sur la page « L'étrange papillon de Lorenz » du site d'André Lévesque qui présente une animation interactive intéressante : http://math.cmaisonneuve.qc.ca/alevesque/chaos_fract/Lorenz/lorenz.html



1
2 -2- Assez rapidement, les trajectoires deviennent très différentes (ici, pour plus de clarté, nous
3 avons effacé le début des trajectoires pour ne garder que les derniers instants). L'une peut
4 faire trois tours autour d'un point à droite tandis que l'autre est passée de l'autre côté au bout
5 de deux tours seulement pour tourner ensuite autour d'un autre point à gauche... De toutes
6 petites différences dans les conditions initiales ont donné de très grandes différences dans les
7 trajectoires.



8
9 -3- Mais au final, chaque trajectoire dessine une figure très semblable qui dans ce cas, a la
10 forme d'un papillon.

11
12
13 Il existe plusieurs cas où des trajectoires ou bien le comportement d'un système sont captés
14 par un « attracteur⁴¹ ». Avec le chaos, nous avons vu qu'une minuscule variation au départ
15 peut produire rapidement un comportement très différent. Mais lorsqu'il existe un attracteur
16 étrange, le système se rapproche inexorablement sur le long terme, d'une figure qu'il est
17 possible de calculer. Tout comme nous l'avons vu pour l'effet papillon en météorologie, le
18 chaos imprévisible à court terme peut pourtant conduire à une représentation prévisible à long
19 terme : les brebis de Philibert suivent toutes un parcours légèrement différent mais Cookie
20 veille pour qu'à l'arrivée elles se retrouvent toutes ensemble⁴² !

21 *Le chaos est-il imprévisible ?*

22 En nous promenant dans les jardins de la maison de la science nous avons trouvé une piste
23 intéressante. Nous avons découvert que dans certains cas très particuliers - étudiés par la
24 théorie du chaos - une infime variation des conditions de départ dans un phénomène, peut
25 donner à l'arrivée une grande différence. Le plus curieux est que malgré ces différences par
26 exemple dans la trajectoire de l'air ou dans celle d'un corps dans l'espace, les figures formées
27 par les différentes trajectoires au bout d'un moment se ressemblent très fortement. C'est le cas
28 entre autre de la figure en papillon dans un phénomène de convection comme l'a constaté
29 Edward Lorenz.

⁴¹ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Attracteur>

⁴² Mais dans ce cas, le chien Cookie joue plutôt le rôle d'un « repousseur étrange » pour les brebis.

1
2 Une immense différence entre les trajectoires élémentaires et une grande ressemblance entre
3 les figures générales tracées par ces trajectoires : nous tenons peut être notre phénomène
4 imprévisible. Le coquin se cachait derrière des résultats globaux tout ce qu'il y a de plus
5 prévisibles ! Pourtant, si nous ne pouvons pas mesurer tous les papillons du monde pour faire
6 une prévision météorologique, il semble que cela soit plus une question de précision qu'un
7 impossibilité théorique. Il nous suffirait d'attendre encore que le progrès fasse son office pour
8 que nous puissions peut être un jour atteindre un tel niveau de précision ?
9

10 En fait la question pour aller plus loin est de savoir si tout est mesurable avec une précision
11 aussi grande que voulue. L'exactitude des valeurs des conditions initiales que nous pouvons
12 entrer dans nos modèles mathématiques est-elle seulement limitée par la précision de nos
13 instruments de mesure, ou bien peut-elle se heurter à des barrières plus infranchissables ?
14 Pour le savoir, nous devons pousser notre investigation plus loin et aller enquêter... chez les
15 Indiens d'Amazonie.

16 **Calcul précis et calcul approximatif**

17 *Ethnologie : quand des populations tribales nous rappellent certains aspects subtils*

18 Des travaux de chercheurs du CNRS et de l'Inserm ont été menés sur une tribu amazonienne.
19 Les Mundurukú sont quelques milliers à vivre dans l'état de Para au Brésil⁴³. Ceux-ci, comme
20 la plupart des peuples indigènes Tupi, ont une langue qui ne dispose de noms que pour les
21 premiers nombres jusqu'à quatre ou cinq. Au-delà, lorsqu'on leur montre un ensemble de
22 treize objets par exemple, ils utilisent des expressions comme « tous les doigts d'une main et
23 un peu plus ». Pierre Pica a effectué une étude depuis 1998 sur 55 Indiens Mundurukú et 10
24 Français. Il a pu découvrir que si, pour les calculs exacts dépassant 5, les indiens étaient
25 désavantagés par leur langue par rapport aux Français, la capacité à effectuer des évaluations
26 approximatives est similaire entre les deux groupes. Par exemple, le chercheur a montré une
27 brève séquence vidéo avec une vingtaine de graines qui tombent dans une boîte auxquelles
28 viennent s'ajouter ensuite une trentaine d'autres. Les Mundurukú peuvent aussi bien que les
29 Français évaluer si l'ensemble fait plus ou moins qu'un autre tas (par exemple avec une
30 quarantaine de graines). Ce type de « calcul approximatif » est celui que nous avons en
31 commun avec tous les êtres humains, y compris ceux dont le langage ne comporte pas des
32 noms pour tous les nombres.

33 *Les neurones du comptage pour le calcul exact*

34 Sans noms associés aux nombres, nos capacités de calcul sont réduites mais ne sont pas
35 totalement nulles comme l'a démontré Andréas Nieder⁴⁴ de l'Université de Tübingen en
36 Allemagne sur des animaux. En fait, le cerveau comporte des neurones - entre autre dans la
37 partie frontale - qui sont associés à l'identification d'un nombre particulier. Nous pouvons
38 ainsi dénombrer instantanément un ensemble. Mais nous ne disposons que de cinq groupes de

⁴³ Pierre Pica, Cathy Lemer, Véronique Izard, Stanislas Dehaene, « Exact and Approximate Arithmetic in an Amazonian Indigene Group », Sciences, 15 octobre 2004 - http://www.unicog.org/publications/PicaLemerIzardDehaene_AmazonArithmetic_Science2004.pdf voir aussi Stanislas Dehaene, « Les bases biologiques de l'arithmétique élémentaire », Pour la Science n°330, avril 2005.

⁴⁴ Nieder A., Miller E.K. (2004) A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 101: 7457-7462 - [http://homepages.uni-tuebingen.de/andreas.nieder/Nieder,Miller\(2004\)PNAS.pdf](http://homepages.uni-tuebingen.de/andreas.nieder/Nieder,Miller(2004)PNAS.pdf)

1 neurones. L'évolution a sans doute considéré que cela était suffisant pour ce qui est de
2 l'évaluation exacte d'un nombre. Sans l'aide des aires associatives du cerveau humain qui
3 permettent d'associer un symbole (un nom) à chaque quantité, nous en serions réduits à faire
4 des approximations au-dessus de cinq. Prenons un exemple⁴⁵ : « un corbeau causait du tort à
5 un paysan, car il faisait fuir les oiseaux de son pigeonier. Le fermier s'arma d'un fusil et prit
6 position dans la tour. Le corbeau se tint à distance du toit, attendant que le fermier s'en aille.
7 Le paysan revint alors avec un complice : le complice ressortirait, faisant croire à l'oiseau
8 que le pigeonier était vide. Le volatile, prudent, attendit que les deux hommes soient
9 repartis. En fin de compte, il fallut cinq comparses pour berner l'oiseau ».

10 **Mathématiques : De l'importance du calcul approximatif**

11 Le « calcul approximatif » peut nous sembler bien primaire par rapport à nos notions
12 d'arithmétiques⁴⁶. Pourtant, il correspond à un besoin différent. Lorsque nous échangeons des
13 biens de façon économique par exemple, nous utilisons une mesure, la monnaie, qui nous
14 permet de donner une valeur exacte - un prix - à l'objet d'une transaction entre deux
15 personnes ou organisations. Par contre, lorsque nous coopérons au sein d'un groupe, que ce
16 soit notre famille, un groupe d'amis ou autre, nous recevons en échange de nos actions
17 quelque chose de plus subtil : de la reconnaissance. Cette contrepartie n'est pas beaucoup plus
18 virtuelle que la monnaie elle-même dont seule 10% correspondent à une réalité économique,
19 le reste étant de la monnaie « financière » qui sert à acheter... de l'argent⁴⁷. Par contre,
20 contrairement à la monnaie, l'estime comme contrepartie d'un échange n'est pas créée par des
21 banques mais par chacun de nous. Elle est globale et non plus transactionnelle (si je fais
22 quelque chose de bien pour quelqu'un je pourrais recevoir de l'estime de l'ensemble du
23 groupe). L'estime, tout comme la monnaie, peut ensuite se transformer en service : plus je
24 suis estimé du groupe plus ses membres seront prêts à m'aider en cas de besoin.
25 L'anthropologue Marcel Mauss a parlé « d'économie du don » pour caractériser ces types
26 d'échanges. Le mécanisme d'estime fonctionne également chez les animaux. « Comme le
27 souligne Alison Jolly : l'épouillage mutuel est « le ciment social des primates, des lémuriens
28 aux chimpanzés », et il peut créer des liens sociaux fondés sur la réciprocité. Ceux de ses
29 congénères qu'il a récemment épouillés viendront plus spontanément au secours d'un animal
30 en danger. Les alliances de ce type aident aussi les animaux à maintenir ou améliorer leur
31 position hiérarchique.⁴⁸ ».

32 **Les grandeurs non mesurables**

33 Mais l'estime, contrairement à la monnaie, pose un problème tout à fait particulier : elle n'est
34 pas mesurable. Pour qu'une grandeur soit mesurable, il faut pouvoir la comparer « avec une
35 grandeur constante de même espèce, prise comme terme de référence (étalon, unité)⁴⁹ ». Il

⁴⁵ Le cerveau compte jusqu'à cinq, Cerveau et Psycho du 1^{er} mars 2003 - http://www.pourlascience.com/php/cp/article_integral.php?idn3=11

⁴⁶ A voir pour le plaisir, la parodie de norme française « Système d'unités pifométriques » : <http://www.aso-organisation.ch/norme.pdf>

⁴⁷ On parle de M1 pour ne compter que la masse monétaire scripturale (billets, pièces, paiements à vue). En France on utilise un autre indicateur, M3, qui inclut également les dépôts à vue rémunérés (les livrets d'épargne) et les dépôts à terme (par exemple les Sicav). Cette masse monétaire est plus simple à calculer mais elle intègre une part de monnaie financière.

⁴⁸ Richard Wilkinson, « L'inégalité nuit gravement à la santé », Cassini, 2002 - Alison Jolly, « The evolution of primate behavior », Macmillan, New York, 1985

⁴⁹ Définition du petit Robert pour le terme « mesure »

1 n'existe pas un « étalon de l'estime » qui permettrait de comparer de façon exacte l'estime
2 que vous avez pour quelqu'un et la mienne... Nous ne pouvons plus poser une simple
3 addition correctement, tous ce que nous pouvons faire est d'évaluer approximativement le
4 niveau d'estime que nous avons pour quelqu'un. Nous nous sommes tellement concentrés sur
5 les magnifiques succès remportés par les sciences exactes et prédictives depuis Newton que
6 nous avons eu tendance à négliger tout ce qui, dans notre vie n'est pas mesurable et ne permet
7 pas le calcul exact. Ainsi, nous sommes devenus très habiles pour expliquer les échanges
8 économiques basés sur la fixation de la valeur d'un prix, mais nous sommes nettement moins
9 avancés pour comprendre les mécanismes de coopération basés sur l'estime qui ne
10 permettent, quant à eux, que le calcul approximatif.

11 ***Chaos + phénomènes non mesurables = imprévisibilité***

12 Cette fois nous tenons une piste sérieuse : prenons un phénomène dont nous ne pouvons
13 connaître les conditions initiales qu'approximativement. C'est le cas par exemple de
14 grandeurs internes à des personnes, comme l'estime, la confiance, etc. Il n'est pas possible de
15 trouver un étalon externe qui nous permette de comparer précisément ces valeurs entre deux
16 personnes différentes. Imaginons maintenant que le phénomène en question soit chaotique,
17 c'est à dire que de toutes petites modifications au départ donnent de grandes différences à
18 l'arrivée - ce type de phénomène ne doit pas être très rare chez les humains... A l'arrivée,
19 nous obtenons quelque chose dont il nous est impossible de prévoir le résultat. Même si nous
20 avons les équations exactes qui nous permettent de modéliser ce phénomène, nous ne pouvons
21 pas connaître avec une précision absolue les conditions de départ et donc encore bien moins
22 les résultats à l'arrivée. Non seulement nous ne pouvons plus utiliser nos modèles pour
23 prévoir ce qui va se passer, mais bien pire encore, la science, qui se base sur la prévision pour
24 fabriquer ces modèles, se retrouve aveugle !

25
26 *« Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne
27 pouvons pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions
28 exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à cet instant initial, nous pourrions
29 prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais lors même
30 que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la
31 situation initiale qu'approximativement. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure
32 avec la même approximation, c'est tout ce qu'il nous faut, nous disons que le phénomène a été
33 prévu, qu'il est régi par des lois ; mais il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver que de
34 petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les
35 phénomènes finaux ; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les
36 derniers. La prédiction devient impossible et nous avons le phénomène fortuit ». (Poincaré)*

1

2 **Deuxième problème : le monde est complexe...**

3 **Quand plusieurs éléments forment un tout**

4 *Changement de point de vue*

5 Dans la théorie du chaos, nous avons vu qu'une petite modification au départ, même non
6 mesurable, peut donner assez rapidement des positions très différentes pour un astre, une
7 molécule d'air ou bien tout autre objet soumis à un phénomène chaotique. Mais des
8 attracteurs étranges font parfois que les différentes trajectoires dessinent des figures très
9 semblables, quels que soient les endroits par lesquels elles passent.

10

11 Dans ce cas, même si les positions de départ sont très proches, les trajectoires sont toutes
12 différentes alors que les figures qu'elles dessinent sont similaires ! Les formes ainsi dessinées
13 dépendent bien moins des positions de départ que du phénomène lui-même.

14 Gardons dans un coin ce que nous venons de trouver et essayons de pousser encore un peu
15 plus loin en changeant notre angle de vue. Au lieu d'assembler les différentes positions d'un
16 élément dans le temps pour regarder la figure ainsi dessinée par sa trajectoire, nous allons
17 nous intéresser à plusieurs éléments qui interagissent entre eux pour regarder la figure globale
18 formée par leur différente position à un moment donné. La forme qui va nous intéresser
19 maintenant, n'est plus la somme des positions d'un élément dans le temps, mais la somme des
20 positions de plusieurs éléments au même instant.

21 *Economie : la bourse, chaotique et complexe...*

22 On pourrait penser que les cours de la bourse présentent souvent un aspect chaotique. Au-delà
23 du terme pris dans son sens courant, cela recouvre effectivement une réalité scientifique⁵⁰. Les
24 lois de l'offre et de la demande sont très sensibles à de petites variations de départ. Cela est
25 particulièrement vrai chez les analystes financiers qui guettent le moindre signal pouvant
26 modifier le marché. Une réaction peut ainsi s'amplifier jusqu'à provoquer une panique.

27

28 Il s'y ajoute un deuxième phénomène : en bourse nous ne pouvons pas nous contenter
29 d'étudier les réactions d'un objet étudié en fonction de son environnement, comme notre
30 caillou influencé par la Terre et la Lune. Nous devons également prendre en compte que les
31 réactions de notre objet (ou de notre sujet s'il s'agit de personnes), agissent en retour sur les
32 autres. Nous parlerons alors de système complexe, c'est à dire d'un ensemble d'éléments
33 interdépendants. Chaque élément composant ce système applique lui-même quelques règles
34 en fonction de ce qu'il connaît de son environnement, on parle « d'agents autonomes ». Ainsi
35 les « agents de bourse » peuvent également être qualifiés « d'agents » dans le vocabulaire des
36 systèmes complexes. La question est de savoir s'il est possible de décrire complètement un
37 système à partir des règles appliquées par chacun de ses agents. Ce n'est pas évident car dans
38 ce cas, les actions de chaque agent sont influencées par la somme de toutes les autres
39 actions... y compris les siennes.

40 *C'est pas si compliqué !*

41 Il ne faut pas confondre complexe et compliqué. Complexe décrit un système dont le grand
42 nombre d'éléments constitutifs et le grand nombre d'interactions entre eux font émerger de

⁵⁰ Voir Jean-Philippe Bouchaud, "La (regrettable) complexité des systèmes économiques" in Pour La Science 314 p142

1 nouvelles caractéristiques. Celles-ci ne peuvent pas être décrites comme la simple addition
2 des caractéristiques de chacun des éléments⁵¹. Complicé signifie difficile à comprendre et à
3 expliquer. Une seule équation peut être compliquée mais n'est pas complexe. Un ensemble
4 d'équations très simples interdépendantes peut former un système complexe. Il faut se méfier
5 de la différence de sens que peut prendre un terme en science par rapport au « sens
6 commun ». Ainsi, le titre de la partie précédente, « la bourse, chaotique et complexe », est
7 trompeur. Il ne signifie pas que la bourse est un grand désordre compliqué, mais qu'elle est
8 doublement difficile à prévoir : du fait de sa sensibilité aux variations infimes (le chaos) et de
9 l'influence de chacun des agents les uns sur les autres (la complexité).

10
11 Comme l'a écrit Louis Bachelier : « les influences qui déterminent les mouvements de la
12 bourse sont innombrables... Il est dès lors impossible d'en espérer la prévision
13 mathématique⁵² ».

14 **Parfois nous ne savons même pas résoudre des équations simples !**

15 *Mécanique : le problème des trois corps de Poincaré*

16 Reprenons l'exemple de notre caillou lancé entre la Terre et la Lune. Jusqu'à présent nous ne
17 nous sommes intéressés qu'à l'influence des deux astres sur le caillou. Mais imaginons qu'il
18 s'agisse d'un corps suffisamment massif pour qu'il soit nécessaire de prendre en compte
19 l'influence de sa propre force gravitationnelle sur la trajectoire de la Lune et de la Terre. Dans
20 ce cas nous disposons de trois corps célestes qui interagissent entre eux. On retrouve par
21 exemple un tel système avec Mars et ses deux satellites : Deimos et Phobos.

22
23 Henri Poincaré avait remarqué que si l'on pouvait résoudre assez facilement les équations des
24 interactions entre deux corps lorsque l'on dispose du modèle mathématique adéquat, il en va
25 tout différemment pour comprendre comment trois corps ou plus interagissent entre eux.
26 Chacun influence les deux autres et modifie leur trajectoire. Les mouvements des autres corps
27 influencent en retour la trajectoire du premier et ainsi de suite... Les trois équations
28 mathématiques qui décrivent le mouvement des trois corps dépendent chacune du résultat des
29 autres et nous ne savons plus résoudre ce système d'équations directement. Cette fois ce n'est
30 pas la sensibilité du système aux conditions initiales qui est en cause mais les interrelations
31 entre des équations. Pourtant il n'y en a que trois dans le système que nous avons décrit !

32 *Mathématiques : la fin de la téléportation*

33 Jusqu'à présent, nous avons modélisé le monde sous forme mathématique. Il nous suffisait de
34 fixer différents paramètres variables dans une équation - les conditions au moment du départ
35 par exemple - pour n'avoir plus qu'une seule chose qui puisse changer dans l'équation : le
36 temps. En fixant un temps dans le futur ou même dans le passé, nous avons alors tous les
37 éléments pour calculer le résultat de cette équation pour ces conditions. Nous obtenions ainsi
38 la valeur de la position d'un objet ou tout autre valeur mesurable pour n'importe quel instant
39 dans le temps que nous pouvions choisir. Cette faculté des mathématiques de nous
40 « téléporter » dans le temps nous a permis de faire des prévisions et donc de mettre en place
41 une méthode scientifique supérieure à l'approche mythique pour valider les hypothèses.

⁵¹ On retrouve dans les systèmes complexes des aspects non linéaires comme ceux décrits dans la partie sur le chaos « l'effet de la somme est différente de la somme des effets »

⁵² Louis Bachelier, Théorie de la spéculation, 1900 - réédité dans « Louis Bachelier : Aux origines de la finance mathématique » sous la direction de Jean-Michel Courtault, Youri Kabanov, Presses universitaires de Franche-Comté (1 avril 2002)

1
2 Mais cette fois tout est différent. Même après avoir choisi les conditions de départ, il nous
3 reste d'autres inconnues en plus du temps. En effet, chaque équation dépend du résultat des
4 autres, qui dépendent eux-mêmes du résultat que nous cherchons !
5

6 Lorsqu'il n'y a que deux équations, nous savons les « mélanger » et n'en faire qu'une seule
7 pour nous retrouver dans le cas habituel. Mais dès que nous avons trois équations ou plus,
8 c'est à dire autant d'objets qui interagissent entre eux, alors nous ne savons plus traiter
9 indépendamment une équation et ainsi nous « téléporter » dans le temps à notre guise. Nous
10 sommes alors obligés de résoudre nos équations uniquement entre deux moments très proches
11 comme expliqué dans l'encadré « - Calculer l'incalculable : l'exemple de Mars et de ses
12 satellites ». Nous devons faire des sauts de puces pour découvrir l'avenir étape par étape.
13

14 **Encadré 14 - Calculer l'incalculable : l'exemple de Mars et de ses satellites**

15 Prenons un système composé d'au moins trois corps qui interagissent entre eux. C'est le cas
16 par exemple de Mars et de ses deux satellites, Phobos et Deimos. Nous avons à notre
17 disposition les équations de la mécanique (prenons celle de Newton, il s'agit d'une bonne
18 approximation car ces astres se déplacent entre eux à une vitesse faible, très éloignée de celle
19 de la lumière). Regardons notre système.
20

- 21 • La position de Mars à un moment donné dépend : de sa position au départ, du moment que
22 je souhaite connaître, mais aussi de la position de Phobos et de Deimos qui influencent sa
23 trajectoire.
- 24 • La position de Phobos à un moment donné dépend : de sa position au départ, du moment
25 que je souhaite connaître, mais aussi de la position de Mars et de Deimos qui influencent
26 sa trajectoire.
- 27 • La position de Deimos à un moment donné dépend : de sa position au départ, du moment
28 que je souhaite connaître, mais aussi des positions de Mars et de Phobos qui influencent sa
29 trajectoire.
30



31
32 *Mars et ses deux satellites (NASA/Lee Krystek)*
33

34 Normalement, si une équation dépend uniquement des conditions de départ et du moment que
35 je souhaite connaître, il me suffit de mesurer avec mes instruments les positions à un moment

1 (par exemple maintenant) pour n'avoir plus que le temps (le moment) comme grandeur
2 variable dans mon équation. Il ne me reste alors plus qu'à choisir le moment que je souhaite
3 connaître : par exemple dans un mois. Cette fois, je peux calculer le résultat numérique de
4 cette équation où il ne reste plus de valeurs inconnues, et hop ! j'obtiens comme résultat la
5 position dans le ciel qu'aura n'importe quel astre dans un mois.

6
7 Mais cette fois la position de Phobos, par exemple, dépend des positions de Mars et
8 Deimos... qui dépendent elles-mêmes des positions de... Phobos ! Le serpent se mord la
9 queue et il me manque toujours certaines valeurs pour calculer l'une ou l'autre de mes
10 équations.

11
12 Essayons d'être un peu plus astucieux. Au bout d'une seconde (par exemple), les positions de
13 Mars, Phobos et Deimos n'ont pas beaucoup changé. Nous allons donc transformer un peu
14 nos équations, en considérant que cette approximation n'a pas trop de conséquences (Si la
15 position des planètes change trop en une seconde, alors nous prendrons par exemple des
16 intervalles de un dixième de seconde). Transformons donc nos équations de cette façon :

- 17
18 • La position de Mars à un moment donné dépend : de sa position au départ, du moment que
19 nous souhaitons connaître, mais aussi de la position une seconde avant de Phobos et de
20 Deimos qui influencent sa trajectoire.
- 21 • La position de Phobos à un moment donné dépend : de sa position au départ, du moment
22 que nous souhaitons connaître, mais aussi de la position une seconde avant de Mars et de
23 Deimos qui influencent sa trajectoire.
- 24 • La position de Deimos à un moment donné dépend : de sa position au départ, du moment
25 que nous souhaitons connaître, mais aussi de la position une seconde avant de Mars et de
26 Phobos qui influencent sa trajectoire.

27
28 A l'instant zéro, nous connaissons la position de Mars, de Phobos et de Deimos. Ce sont les
29 fameuses conditions initiales que nous mesurons . Nous avons donc toutes les valeurs pour
30 calculer le résultat des équations une seconde après : Mars dépend de sa position de départ
31 (que nous avons mesurée), du moment choisi (une seconde après les conditions de départ) et
32 des positions de Phobos et de Deimos une seconde avant (ce sont justement leurs conditions
33 de départ !). Nous pouvons également faire la même chose pour chacun des satellites.

34
35 Les valeurs des positions de Mars et de ses satellites obtenues ainsi pour une seconde après le
36 départ nous permettent de trouver les positions au bout de deux secondes. Celles-ci nous
37 permettent d'obtenir les résultats au bout de trois secondes. Et ainsi de suite. Secondes après
38 secondes, nous pouvons reconstituer les trajectoires de Mars, Phobos et Deimos.

39
40 Nous avons perdu la faculté des mathématiques de nous téléporter instantanément à n'importe
41 quel moment, mais nous avons trouvé le moyen de reconstituer seconde après seconde toutes
42 les trajectoires. En acceptant de reparcourir le chemin emprunté par le temps, nous avons pu
43 réaliser ce que les mathématiques seules ne savent résoudre.

44 ***Il faut parcourir tout le chemin pour connaître l'arrivée***

45 L'astuce présentée est un procédé souvent utilisé : lorsque les scientifiques n'arrivent pas à
46 trouver la solution d'une équation de façon purement mathématique, ils le font de façon
47 numérique. Au lieu de manipuler des équations qui dépendent les unes des autres, ils calculent
48 la position des trois corps à une étape donnée seulement après avoir trouvé les positions à
49 toutes les étapes précédentes. De proche en proche, il est ainsi possible de reconstituer les

1 différentes trajectoires. Les ordinateurs sont des outils idéaux pour ce type de simulation
2 numérique.

3
4 Les problèmes à trois corps sont très fréquents. Même si nous négligeons l'influence des
5 autres planètes, nous ne savons pas résoudre directement le système formé par le Soleil, la
6 Terre et la Lune. Bien sûr, cela n'est pas limité uniquement aux cas où il y a trois éléments
7 qui interagissent les uns avec les autres. En fait la complexité apparaît dès que l'on dépasse le
8 nombre de deux « choses » qui s'influencent les unes les autres. Dans le cas de la bourse, que
9 nous avons vu précédemment, c'est un nombre bien plus grand « d'agents autonomes » qui
10 interagissent. Nous ne savons plus résoudre l'ensemble des équations même si chacune est
11 simple. Avec les systèmes complexes, nous ne sommes plus capables de prévoir
12 instantanément la situation à n'importe quel moment. Nous n'avons plus de vue directe sur le
13 futur, nous sommes condamnés à parcourir toutes les étapes du temps pour découvrir
14 l'avenir.

15
16 Nous ne pouvons plus utiliser la « dépose par hélicoptère » dont nous avons parlé dans
17 l'introduction pour atteindre directement l'arrivée. Nous devons parcourir tout le chemin
18 enjambée par enjambée pour connaître ce qui nous attend à l'arrivée.

19 **La magie du nombre trois**

20 *Linguistique : un peu de grammaire*

21 Il semble qu'il y ait une différence entre les nombres « un » et « deux » d'une part, et
22 l'ensemble des autres nombres entiers supérieurs. A partir de trois apparaît de la complexité
23 lorsque les différents éléments ont une influence les uns sur les autres. Cette particularité est
24 prise en compte dans certaines langues. Dans le grec ancien⁵³ par exemple, le pluriel (ou
25 collectif) n'est valable qu'à partir de trois. Le « duel » est utilisé lorsqu'il y a deux éléments.
26 La langue des Indiens Huron ou celle des Lapons comprend également un « duel » et fait
27 donc une différence entre par exemple les pronoms : « je » (singulier), « toi et moi » (duel) et
28 « nous tous » (pluriel).

29 *Psychanalyse : le nœud borroméen*

30 Cette différence entre deux et les autres nombres entiers de valeur supérieure a également été
31 remarquée par le psychanalyste Jacques Lacan : « Le nombre deux n'est pas du tout si facile à
32 constituer que ça, comme seuls les mathématiciens peuvent le savoir⁵⁴ ». Lacan propose la
33 notion de « nœud borroméen » pour illustrer comment trois concepts peuvent interagir en se
34 rendant indissociables, « (trois) anneaux qui sont entrelacés de telle sorte que briser l'un
35 d'entre eux, quel qu'il soit, sépare les deux autres ».

⁵³ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Grec>

⁵⁴ Conférence donnée à l'université de Milan le 12 mai 1972, parue dans l'ouvrage bilingue :
Lacan in Italia - Lacan en Italie 1953-1978., Milan, La Salamandra, 1978, pp. 104-147.

1
2

Encadré 15 - Le nœud Borroméen de Lacan



3
4
5
6

En pensée ou à l'aide d'anneaux que vous aurez réalisés vous même, essayez de supprimer n'importe lequel des anneaux. Aussitôt les deux autres sont libérés et peuvent être séparés. Chaque anneau tient les deux autres...

7 **Ethnologie : les mathématiques Pirahãs**

8 Puisque l'astronomie nous a permis d'illustrer à la fois le chaos (avec les trajectoires
9 instables) et la complexité (avec les systèmes à trois corps qui interagissent), regardons si les
10 tribus amazoniennes qui nous ont déjà éclairés dans le premier cas peuvent nous apprendre
11 quelque chose pour le second. Cette fois, c'est le cas des Pirahãs qui est particulièrement
12 intéressant. Il s'agit d'une tribu de la forêt amazonienne d'à peine deux cent personnes qui a
13 été étudiée pendant vingt-sept ans par Daniel et Kerren Everett. Les Pirahãs n'ont que trois
14 noms pour désigner des chiffres ou des nombres : un, deux et ... beaucoup⁵⁵. Daniel Everett
15 fait l'hypothèse que cela est dû à la volonté farouche des Pirahãs de conserver leur identité. Ils
16 ne veulent rien faire comme les autres. Ainsi ils n'ont pas de mot pour désigner les couleurs et
17 rejettent toute idée d'abstraction. Ils changent également souvent leur propre nom afin
18 d'éviter que les esprits ne s'en emparent. Le linguiste américain Peter Gordon de l'université
19 de Columbia a étudié leur capacité de calcul. Il est arrivé à la conclusion, à la suite des
20 hypothèses formulées au début du XXème siècle par Edward Sapir et Benjamin Lee Whorf,
21 que les compétences varient d'un peuple à l'autre et dépendent de la capacité d'expression de

⁵⁵ « le pays où l'on ne sait pas compter jusqu'à trois » - <http://www.futura-sciences.com/sinformer/n/news4229.php>

1 sa langue. S'ils n'ont pas de noms pour les nombres au-delà de deux, alors ils ne peuvent pas
2 savoir compter. Mais depuis les travaux de Noam Chomsky au contraire, la plupart des
3 spécialistes pensent que toutes les langues du monde reposent sur une sorte de grammaire
4 universelle qui serait inscrite au fond du cerveau de chaque être humain. La façon de compter
5 des Pirahãs pourrait laisser penser qu'ils sont limités dans leur capacité de calcul, mais ils
6 conservent le même potentiel que tous les êtres humains, potentiel qu'ils pourront développer
7 si un jour ils apprennent une autre langue. Si nous regardons de plus près, nous pouvons voir
8 que les Pirahãs ne sont pas forcément limités sur d'autres notions mathématiques que le pur
9 calcul arithmétique. Ils savent par exemple distinguer l'émergence de la complexité au-delà
10 de deux, ce qui est très utile pour vivre dans une tribu où tous les membres interagissent entre
11 eux...

12 ***Comment découvrir nos propres limitations ?***

13 Ce petit détour par les tribus amazoniennes Pirahãs et Mundurukú a permis de voir que
14 l'évolution de la connaissance n'est pas si simple qu'il n'y paraît. Si nous voyons bien les
15 points sur lesquels notre civilisation nous a permis d'avancer, nous avons plus de mal à être
16 conscient des autres notions que nous avons eu tendance à délaissier. De temps en temps,
17 cependant, nous pouvons les observer ailleurs, parfois là où nous les attendons le moins. Si
18 nos langues occidentales nous ont donné un véritable avantage pour le calcul exact en nous
19 permettant de nommer tous les nombres quels qu'ils soient, nous avons certainement négligé
20 le calcul approximatif pourtant indispensable pour traiter de toute la partie du monde qui est
21 non mesurable. Quant à la langue des Pirahãs, tout comme celle des Grecs anciens ou des
22 Hurons, elle permet de distinguer entre deux et tous les nombres supérieurs pour faire
23 apparaître le lieu où commencent les lois de la complexité. Sans doute, la vision analytique et
24 mécaniste du monde développée par la science ne nous a pas facilité la tâche. En effet, trois
25 corps, s'ils n'interagissent pas ensemble, n'engendrent pas de complexité et il est aisé dans ce
26 cas de résoudre les trois équations qui sont indépendantes. Mais, que nous le voulions ou non,
27 tout interagit, le monde autour de nous est complexe. John Von Neuman, père de l'ordinateur
28 moderne, disait des sciences du complexe qu'elles seraient les sciences du XXIème siècle.

29 **Les systèmes évolutionnaires**

30 Ces derniers temps, nous nous sommes pas mal promenés dans deux parties du jardin de la
31 Science, celle où nous voyons le monde sensible et celle où nous pouvons modéliser les lois
32 de la Nature. Nous en sommes arrivés à la conclusion que dans certains cas où plusieurs
33 phénomènes interagissent, nous devons procéder par toutes petites étapes de calcul pour
34 reconstruire ce qui se passe petit à petit, à défaut de pouvoir utiliser la puissance de
35 « téléportation » des mathématiques. Il est donc largement temps d'aller chercher quelques
36 indices du côté du calcul et des mondes numériques (ou virtuels), une autre des façons que
37 nous avons rencontrées pour représenter la Réalité... à défaut de l'atteindre.

38 ***L'exemple du jeu de la vie***

39 Nous avons vu qu'à partir de trois, et lorsque les différents éléments interagissaient entre eux,
40 la complexité apparaissait. Il ne nous est plus possible, la plupart du temps, de résoudre ces
41 systèmes d'équations. Le problème des trois corps de Poincaré a ruiné nos espoirs. Mais il
42 reste possible de retrouver le déroulement futur d'un tel système en utilisant non plus
43 seulement les mathématiques mais la simulation numérique.

44
45 Dans les années 1970, John Horton Conway, mathématicien anglais, proposa le « jeu de la
46 vie » à partir d'une idée de Von Neumann. Il s'agit de regarder évoluer un système où chaque
47 case d'un damier a un comportement qui dépend de ses voisins immédiats.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27

Encadré 16 - Le jeu de la vie

Sur une grille de taille variée, voire infinie, on dispose au hasard des pions qui symbolisent les cases vivantes. Les cases qui ne comportent pas de pions représentent au contraire des cases mortes. Conway propose quelques lois simples pour faire évoluer ce système qui dépend du nombre de voisins qu'a chaque pion :

☞ Pour survivre, un pion doit avoir deux ou trois voisins dans les huit cases qui l'entourent. S'il en a plus, il meurt de surpopulation ; s'il en a moins, il meurt d'isolement.

☞ Une case vide qui a exactement trois voisins permet de faire apparaître un nouveau pion

A chaque étape, en fonction de la situation de l'échiquier, on détermine les pions qui meurent ou qui survivent et les cases vides qui font « naître un pion ». Ces règles simples permettent, à partir d'une configuration de départ de la grille, de faire évoluer une population de pions.

Les résultats sont parfois surprenants. La figure ci-dessous présente quelques exemples simples⁵⁶ qu'il est possible de reproduire sur un papier quadrillé ou sur un échiquier :

☞ La configuration « en carré », une fois obtenue, est stable : chaque pion dispose de trois voisins. C'est le cas également du « nid d'abeille » où les pions ont cette fois deux voisins.

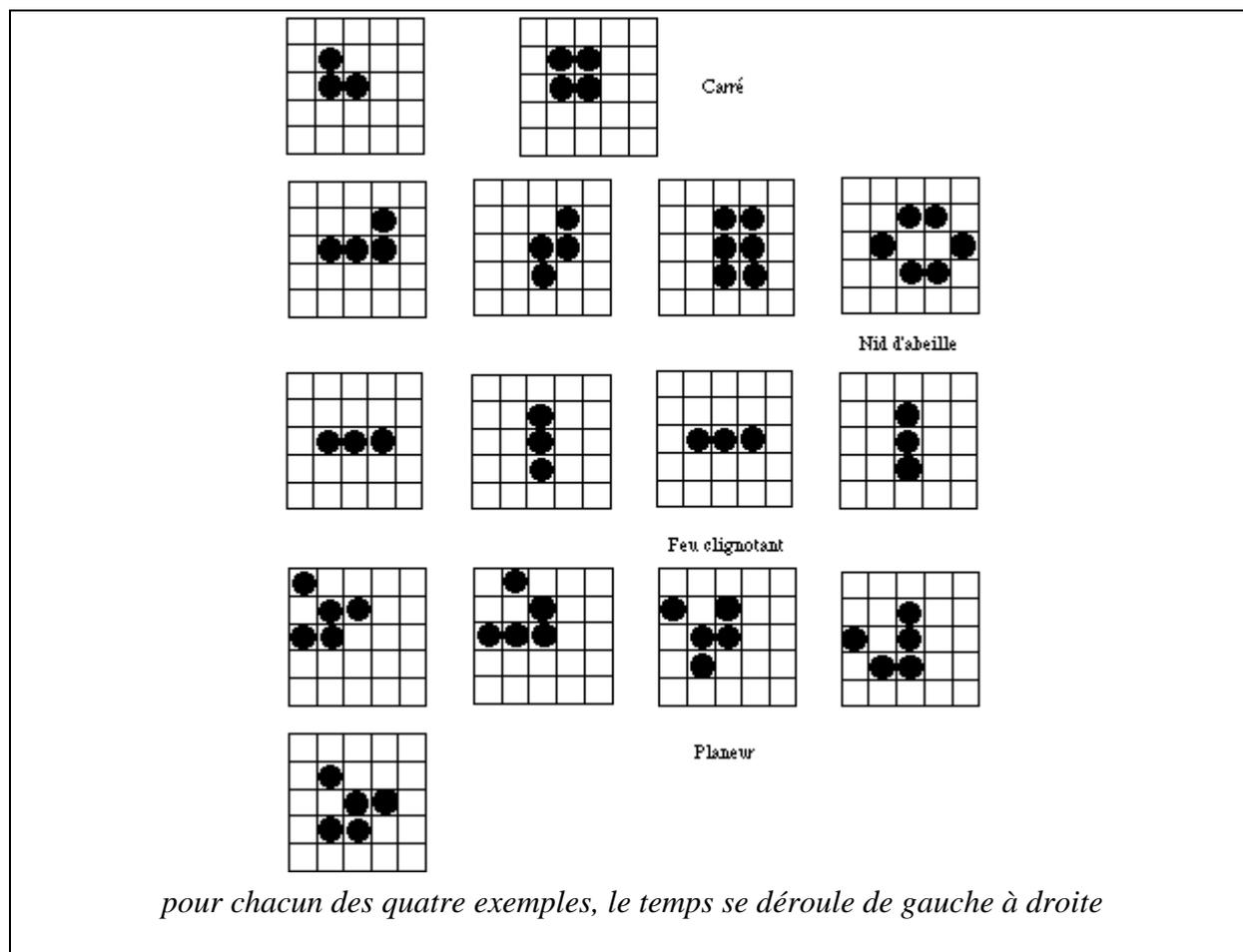
☞ Le « feu clignotant » montre une situation qui oscille entre deux positions : une fois verticale et la fois suivante horizontale avant de revenir à la position initiale.

☞ Le « glisseur » (encore appelé planeur) est plus particulier : après quatre étapes, on le retrouve à l'identique mais entre temps, il s'est déplacé sur la grille. Ainsi, le « glisseur » est capable de se déplacer sur la grille !

Vous pouvez créer vos propres exemples. Si vous prenez par exemple deux glisseurs qui se déplacent dans un sens différent et se rencontrent, ils se détruisent l'un l'autre ! Vous trouverez sur Internet plusieurs sites proposant des petits programmes en ligne pour jouer au « jeu de la vie »⁵⁷.

⁵⁶ Exemples extraits de la page de Gérard Weisbuch, du laboratoire de Physique Statistique de l'Ecole Normale Supérieure sur les automates cellulaires à deux dimensions : <http://www.lps.ens.fr/~weisbuch/a2dim/a2dim.html>

⁵⁷ par exemple : <http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/divers/conway.html> ou bien <http://www.vieartificielle.com/article/?id=91> qui présente quelques configurations remarquables



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

Le jeu de la vie nous montre une nouvelle approche pour comprendre le monde : des lois simples appliquées à plusieurs éléments en fonction de leur voisinage, forment un monde complexe. Lorsque nous ne savons pas analyser un système directement par les mathématiques, la simulation étape par étape nous permet de voir évoluer le système. Cette approche appelée « évolutionnaire » prend une importance grandissante dans la science.

Avec l'approche évolutionnaire, il ne s'agit plus de se « téléporter à un instant choisi ». Au contraire, pour connaître la situation d'un système à un moment donné, nous devons parcourir toutes les étapes entre la situation de départ et celle du moment choisi. C'est d'une certaine façon l'approche qu'a choisie la nature pour évoluer : les plantes et les animaux évoluent depuis un système simple - un œuf, une graine - pour croître progressivement et former un ensemble toujours plus complexe.

Un nouveau type de science : l'approche (r)évolutionnaire de Stephan Wolfram

L'approche évolutionnaire que nous venons de voir, est celle qu'a choisie d'étudier Stephen Wolfram pour proposer rien moins qu'une « nouvelle sorte de science⁵⁸ ». L'idée de Wolfram a été de commencer par étudier de façon exhaustive un système encore plus simple que le jeu

⁵⁸ Stephen Wofram, « A new kind of science », Wolfram Media 2002, 1284 pages, ISBN 1-57955-008-8
Egalement disponible sur internet : <http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>.
La revue en ligne Automates Intelligent propose un dossier très complet en français sur ce livre : <http://www.automatesintelligents.com/labo/2002/juin/doswolfram.html>

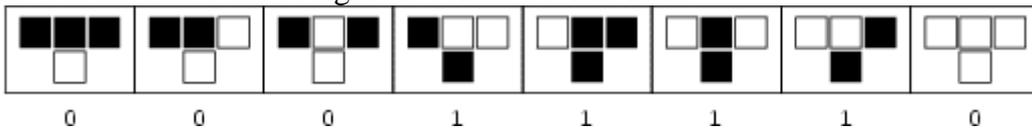
1 de la vie avec ce que l'on appelle des « automates cellulaires élémentaires à une dimension ».
 2 Dans ce cas, tout se passe sur une simple ligne. L'état de chaque case, appelée cellule, dépend
 3 de sa situation précédente et de celle de ses deux cellules voisines (voir l'Encadré 17). Par
 4 comparaison, on pourrait dire que le jeu de la vie est basé sur des « automates cellulaires
 5 élémentaires à deux dimensions ».

7 **Encadré 17 - Les automates cellulaires de Stephen Wolfram**

8 Prenons des cases disposées sur une ligne horizontale et qui peuvent être noires ou blanches.
 9 A l'étape suivante, l'état de chaque case dépend de son état précédent et de celui de ses deux
 10 voisines. Ainsi la ligne suivante peut être définie cellule par cellule. Une fois cette étape
 11 réalisée on peut passer à une troisième ligne puis générer une quatrième et, de proche en
 12 proche, voir évoluer le système en fonction à la fois des conditions initiales et des règles du
 13 jeu. On parle d'automates cellulaires élémentaires à une dimension.

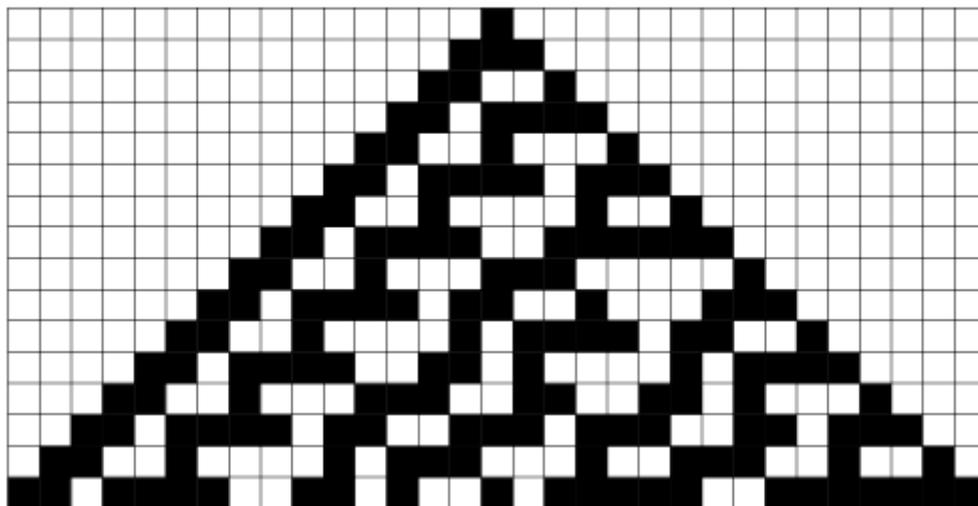
14 Définissons une règle du jeu (le temps se déroule de haut en bas) :

- 15 • Si la cellule est blanche et ses deux voisines sont toutes les deux noires ou toutes les deux
- 16 blanches, alors la cellule reste blanche,
- 17
- 18 • Si la cellule est noire et que sa voisine de gauche est noire également alors la cellule
- 19 devient blanche
- 20 • Dans tous les autres cas de figure la cellule devient noire



21 Il s'agit ici de la règle n°30 (00011110 en binaire). Il y en a 256 en tout qui ont été étudiées de
 22 façon exhaustive par Stephen Wolfram.

23 Voici le résultat obtenu par cette règle lorsqu'une seule des cellules est noire au départ. Ce qui
 24 est étonnant, c'est que cette règle bien précise semble donner un résultat aléatoire...⁵⁹



28
 29
 30 ⁵⁹ Vous pouvez regarder l'évolution d'un système après avoir choisi vos propres règles sur le
 site : <http://www-geol.unine.ch/people/ronny/ac.html>

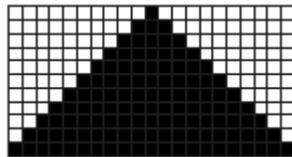
1 Dans ces deux cas, l'expression « automates élémentaires » signifie que chaque cellule ne
 2 peut avoir que deux états différents (avec ou sans pion ; noire ou blanche ; ou bien encore
 3 vivante ou morte, etc.). Il n'existe que 256 règles du jeu différentes possibles⁶⁰. L'étude de
 4 ces règles révèle des cas de figure très différents. Parfois, au bout d'un certain temps, toutes
 5 les cellules conservent leur couleur et le système ne change plus (par exemple toutes les
 6 cellules sont devenues noires). Dans d'autre cas, les cellules arrivent à une situation où elle
 7 peuvent changer mais reviennent toujours à cette position indéfiniment. Cela ressemble un
 8 petit peu au « feu clignotant » du jeu de la vie où la situation est cyclique.
 9

10

Encadré 18 - Les différents types de règles du jeu

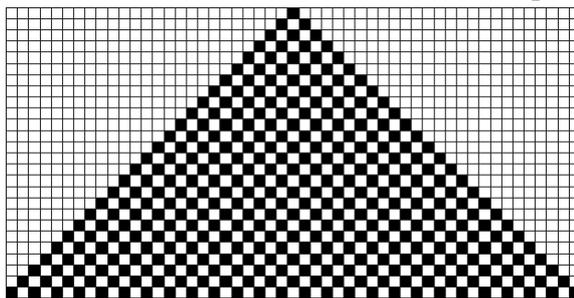
11 Dans le système d'automates cellulaires à une dimension étudié par Stephen Wolfram, on
 12 peut distinguer 4 grands types de comportement (voir le fonctionnement des automates
 13 cellulaires dans l'encadré précédent page 76).
 14
 15

16



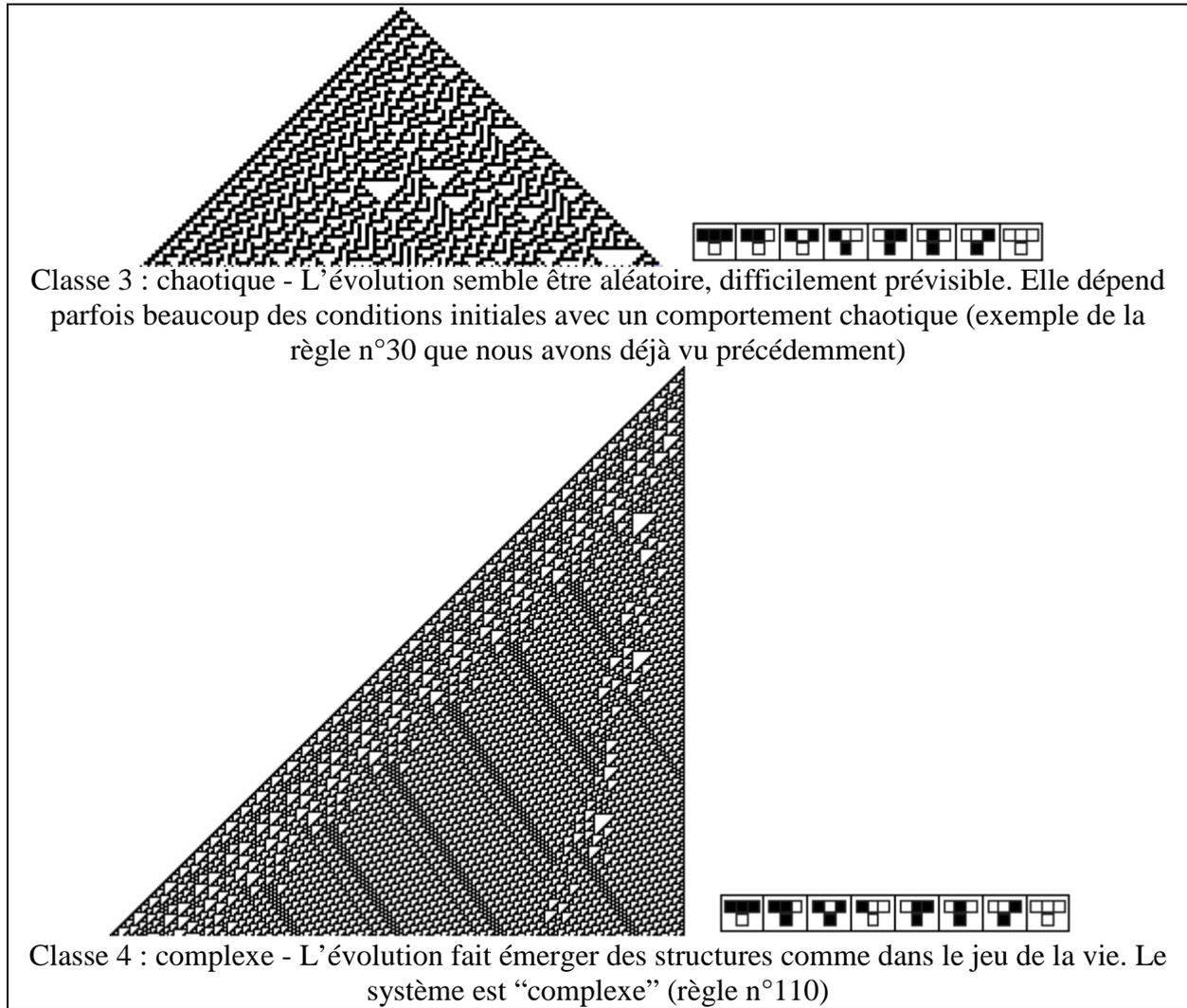
17 Classe 1 : homogène - Le système évolue vers un état totalement homogène. Tout devient
 18 monotone au bout d'un certain temps (exemple de la règle n°254)

19



20 Classe 2 : régulier - on arrive à des motifs stables et périodiques (exemple de la règle 26)

⁶⁰ Pour définir l'état d'une cellule à l'étape d'après il faut regarder l'état de trois cellules (elle même et ses deux voisines). Il existe donc huit configurations possibles : une cellule a deux états, deux cellules peuvent représenter donc 4 situations différentes (2X2) ; et trois cellules offrent 8 possibilités différentes (2X2X2). Pour chacune de ces 8 situations on peut définir ce que doit devenir la cellule (par exemple : si le voisin de gauche est blanc, si la cellule elle-même est aussi blanche et si le voisin de droite est noir, alors la cellule devient noire, etc.). Pour définir une règle du jeu il suffit de définir ce qui se passe dans les 8 cas de figures et de l'appliquer à chacune des cellules. Pour chacun de ces cas, on décide que la cellule doit devenir noire ou blanche (ou le rester si elle l'est déjà). Il y a donc deux possibilités pour le premier cas, deux pour le deuxième cas, et ainsi de suite pour chacun des huit cas. Cela nous fait : 2X2X2X2X2X2X2X2 soit 256 règles différentes possibles (les spécialistes diraient 2⁸)



9 ***Le chaos et la complexité réapparaissent... et même la capacité à faire des calculs !***

10 Une troisième classe de règles donne des résultats qui semblent dus au hasard. Il n'est pas
11 possible de trouver, en regardant simplement le résultat, des périodicités ou d'autres
12 phénomènes qui permettraient de savoir quelle sera à l'avance l'évolution de notre ligne de
13 cellule. Bien qu'il y ait une règle du jeu définie, nous ne pouvons pas prévoir comment le
14 système évoluera simplement en regardant les résultats antérieurs. Pourtant, si l'on utilise la
15 même règle du jeu sur une même configuration de départ de cellules, on obtiendra le même
16 résultat. Certaines règles de ce troisième type sont chaotiques au sens où nous l'avons vu
17 précédemment : une minuscule modification de la situation de départ des cellules (l'une d'elle
18 est blanche plutôt que noire) et le résultat obtenu sera totalement différent.

19
20 Les automates de la quatrième et dernière classe vont pour leur part encore au-delà et
21 introduisent de la complexité : de l'apparent désordre semble émerger une nouvelle forme
22 d'ordre. Ces règles du jeu sont peu nombreuses mais permettent de faire des choses
23 extraordinaires. A partir de quelques règles très simples (la façon dont se transforme chaque
24 cellule en fonction de son état et de celui de ses deux voisines) et d'une situation de départ,
25 nous pouvons créer de la complexité. Les chercheurs ont même démontré que certaines règles

1 du jeu (par exemple la règle n°110) sont capables de faire des additions⁶¹ ! En fait, elles
2 permettent de faire n'importe lequel des calculs que peut faire un ordinateur, ou en d'autres
3 termes elles permettent de réaliser une « machine de Turing ». Alan Turing a démontré
4 qu'une machine d'un certain type qui pourrait exécuter des opérations simples les unes après
5 les autres pourrait réaliser n'importe quelle opération permise par les mathématiques⁶² et
6 même au-delà, n'importe quel calcul numérique. Nous avons vu précédemment que les
7 systèmes complexes savent aller plus loin que les mathématiques. En adoptant une approche
8 évolutionnaire, comme celle de la machine de Turing, nous pouvons de proche en proche
9 reproduire l'évolution d'un système. Les automates de Stephen Wolfram permettent de faire
10 tout ce que font les mathématiques et même plus : ils permettent de simuler des systèmes
11 complexes imprévisibles⁶³.

12 *La complexité, à cheval entre l'ordre et le désordre*

13 Dans le monde de simulation numérique dans lequel nous venons de nous promener, nous
14 avons trouvé les mêmes particularités que dans le monde sensible ou dans celui de la
15 modélisation mathématique : le chaos et la complexité sont deux cas particuliers où il n'est
16 pas possible d'utiliser le pouvoir de « prévision » des mathématiques, il nous faut parcourir
17 toutes les étapes de la simulation pour savoir quel sera le résultat à un instant donné. Les
18 règles de classe 1 et 2 mènent à un ordre (tout devient homogène ou régulier). A l'inverse, les
19 règles de classe 3 produisent du désordre (le résultat semble aléatoire au niveau élémentaire
20 même si certaines valeurs sont stables au niveau global, comme par exemple le pourcentage
21 de cellules noires). Les règles de classe 4, qui introduisent des phénomènes émergents, se
22 situent à la frontière. Dans un système, le passage de l'ordre au désordre ne se fait pas de
23 façon continue.

24
25 Dans la nature par exemple, l'état solide représente un état ordonné : les atomes prennent des
26 positions régulières. Dans un fluide, la situation est plus désordonnée : un peu plus dans un
27 liquide et beaucoup plus dans un gaz. Mais le passage d'un état à l'autre ne se fait pas d'une
28 façon continue. Lorsque l'on chauffe un solide (par exemple de la glace), on lui apporte de la
29 chaleur. Celle-ci dans un premier temps se traduit par une température qui augmente
30 régulièrement. Mais à un moment donné la température cesse de grimper et le corps solide se
31 transforme en liquide. On assiste alors à une « transition de phase » de l'état solide à l'état
32 liquide. Si la température n'augmente pas, cela ne veut pas dire qu'il ne se passe rien, bien au

⁶¹ Si l'on met un nombre en binaire (avec des 1 ou des 0 ou, ce qui revient au même, avec des cellules blanches et noires) sur la ligne de départ des cellules ; Si l'on met un deuxième nombre également en binaire mais cette fois écrit à l'envers (c'est à dire de droite à gauche) ; Si enfin ces deux nombres sont séparés par une cellule de valeur 0, alors cette cellule prendra successivement la valeur des différents chiffres binaires qui constituent le résultat de l'addition...

⁶² Voir par exemple la définition dans l'encyclopédie en ligne Wikipedia : http://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_de_Turing

⁶³ En fait le chaos et la complexité semblent reliés : le chaos étudie l'évolution difficilement prévisible d'un seul élément au cours des différentes étapes du temps, alors que la complexité s'intéresse à la disposition d'un ensemble d'éléments à un instant donné. Les différents états au cours du temps dans le chaos semblent correspondre aux différents états des éléments du système en complexité (même si on peut aussi s'intéresser à l'évolution du système). Peut être serait-il possible - en inversant les rôles du temps et de l'espace - d'utiliser certains outils qui servent à étudier l'un (par exemple les automates cellulaires) pour trouver des choses nouvelles dans l'autre cas... et vice versa.

1 contraire : c'est dans cet état intermédiaire que se passe la transformation de la glace en eau.
2 De même, lorsque l'on passe de l'ordre au désordre dans un système, on assiste - juste entre
3 les deux états - à quelque chose d'étrange. Si l'on mesure le degré de complexité, il
4 commence par augmenter, passe par un maximal puis décroît pour laisser la place de nouveau
5 à l'augmentation du désordre.

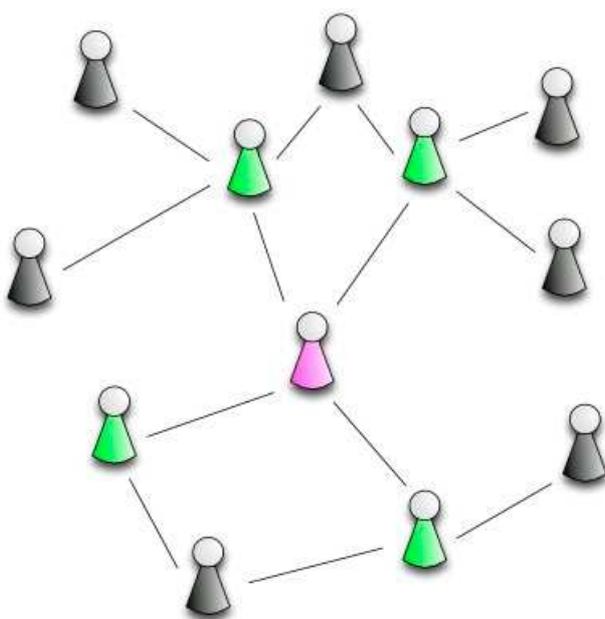
6
7 C'est peut être pour cela que nous n'avons pas vu plus tôt ce phénomène étrange et
8 imprévisible qu'est la complexité : il se cache juste à la frontière entre l'ordre et le désordre.
9 Imposez l'ordre ou imposez le désordre et vous ne pourrez jamais voir émerger la
10 complexité !

11 ***Des automates aux agents autonomes***

12 Les automates cellulaires que nous avons vu nous permettent de comprendre avec des
13 systèmes simplifiés comment des comportements chaotiques ou complexes imprévisibles
14 peuvent apparaître. Mais la vie n'est pas un simple damier. Même si nous multiplions les
15 dimensions de ce damier, et même si nous multiplions le nombre d'états différents (en
16 remplaçant le simple choix entre noir et blanc par plusieurs couleurs), nous n'obtenons pas
17 une bonne approximation de tout ce qui se passe par exemple dans un groupe de personnes
18 qui échangent entre elles. En fait, dans ce cas, chaque élément étudié peut être relié ou non à
19 certains de ses voisins proches ou plus éloignés. La figure représentée ressemble moins à un
20 damier qu'à un réseau où chaque nœud peut être relié à plusieurs autres par des liens. Si nous
21 voulons représenter notre réseau social, nous pouvons placer des liens entre nous et les
22 personnes que nous connaissons mais aussi entre les personnes qui se connaissent entre elles.
23 Un tel réseau fonctionne cependant comme les automates cellulaires que nous avons vu :
24 chaque nœud évolue en fonction de lui-même et de l'influence de ses voisins. On parle alors
25 de réseaux d'agents autonomes (comme nos agents de change au début de ce chapitre). Les
26 résultats sont cependant les mêmes que dans la simulation simplifiée par des automates
27 cellulaires : on retrouve pour certaines règles l'apparition du chaos et de la complexité. La
28 seule façon alors de savoir quelle sera la configuration à un moment donné est de parcourir
29 toutes les étapes qui y mènent.

30

Encadré 19 - Les réseaux sociaux*



31
32

Explications à ajouter (différences et ressemblances avec les automates programmables).

1 ***Tout est évolutif dans le monde : de la vie à l'intelligence***

2 Progressivement cette idée de « parcourir toutes les étapes » a fait son chemin et a permis de
3 combler certaines lacunes. Au départ par exemple, les recherches en Intelligence Artificielle
4 dans les années 1970 n'ont obtenu que de piètres résultats. Le « solutionneur général de
5 problèmes » (« General Problem Solver » en anglais) a finalement été délaissé au début des
6 années 1980 sans remplir les espoirs mis en lui. Depuis quelques années, les scientifiques ont
7 pris une approche radicalement différente. Plutôt que de fabriquer un système qui serait
8 intelligent, ils cherchent à faciliter son développement par étapes successives. L'intelligence
9 artificielle évolutive donne actuellement des résultats très prometteurs qui nous permettent
10 également de mieux comprendre l'intelligence humaine.

11
12 Cela ressemble aussi à ce qui se passe dans la nature : il ne nous est pas toujours possible
13 simplement en observant le monde d'en tirer des lois facilement. Parfois les systèmes
14 évoluent de façon imprévisible. Mais la nature passe patiemment par chacune des étapes. Nos
15 anciens croyaient à la génération spontanée, les souris apparaissaient dans les tas de chiffons
16 sales. Nous savons aujourd'hui que pour faire une souris ou une plante, il faut partir d'une
17 simple cellule qui se développe progressivement en passant par de nombreuses étapes. Jean-
18 Paul Baquiast propose d'appeler « Monde » « *un système évolutionnaire chaotique, résultat*
19 *de la compétition sur des réseaux d'échange en constant développement, d'un nombre de plus*
20 *en plus grand d'acteurs ou agents luttant pour l'accès à des ressources rares⁶⁴ ». Les*
21 hommes ont ainsi appris cette grande leçon de la nature : « *chaque chose en son temps* » ou en
22 d'autres termes « *il faut laisser le temps au temps* ».

⁶⁴ JeanPaulBaquiast, « Sciences de la complexité et vie politique » - Tome 1 : comprendre, éditions Automates Intelligents, Paris février 2003

1

2 **Il faut aller plus loin**

3 **Quand les mécaniciens présentent leurs excuses au « public instruit »**

4 **« Rien ne serait incertain... »**

5 La mécanique de Newton nous a permis de prévoir les trajectoires des corps, et les
6 scientifiques ont ainsi pensé pouvoir prévoir l'avenir de façon absolue. Pierre Simon Laplace,
7 Physicien français de la fin du XVIIIème et début du XIXème siècle en a donné comme
8 exemple ce qui est devenu célèbre sous le nom de « démon de Laplace » : pour une
9 intelligence qui connaîtrait toutes les lois de la nature et la situation à un moment donné,
10 « Rien ne serait incertain pour elle et l'avenir comme le passé seraient présents à ses yeux ».
11 « Toute science a pour but la prévoyance » disait peu avant Auguste Comte, philosophe
12 français qui introduisit le positivisme. Cette approche considère que l'esprit scientifique est
13 capable d'une connaissance absolue. Mais nous avons vu plusieurs circonstances où le monde
14 est moins prévisible qu'on ne le pensait à l'époque.

15

16 Les philosophes grecs pensaient que la raison était l'outil qui nous permettrait d'atteindre la
17 connaissance. Au XVIIème siècle, Isaac Newton posait les bases de la science moderne et
18 René Descartes proposait sa « méthode » pour une approche aussi rigoureuse en philosophie.
19 Elles nous ont permis dans de très nombreux cas de comprendre les lois de la nature et de les
20 appliquer pour prévoir l'avenir ou redécouvrir le passé. Mais le XXème siècle a apporté le
21 chaos et la complexité ! Ces deux découvertes firent l'effet d'un véritable coup de tonnerre
22 dans le monde de la science, à tel point que les scientifiques comprirent les limites de la
23 prévisibilité et même, s'excusèrent à la face du monde !

24 **« Nous souhaitons nous excuser collectivement »**

25 Sir James Lighthill en 1986 a présenté un exposé à une réunion de la Royal Society et de la
26 British Academy intitulé « L'échec récemment reconnu de la prévisibilité en dynamique
27 newtonienne » : « *Nous, spécialistes de la mécanique, sommes tous profondément conscients*
28 *aujourd'hui du fait que l'enthousiasme de nos prédécesseurs pour les merveilleux succès de*
29 *la mécanique newtonienne les a conduits, dans le domaine de la prévisibilité, à des*
30 *généralisations que nous avons eu tendance à tenir pour vraies avant 1960, mais dont nous*
31 *reconnaissons aujourd'hui qu'elles étaient fausses.* » Il ajouta ensuite « *Nous souhaitons nous*
32 *excuser collectivement d'avoir induit en erreur le public instruit en répandant, sur le*
33 *déterminisme des systèmes qui suivent les lois de mouvement newtoniennes, des idées qui*
34 *devaient, après 1960, être réfutées*⁶⁵. »

35 **De l'imprévisibilité à l'indétermination**

36 ***Le monde est-il tout tracé... même si nous ne le savons pas ?***

37 James Lighthill va plus loin que ce que nous avons dit jusqu'à présent. Dans ce chapitre nous
38 avons vu plusieurs cas où il était impossible de se projeter dans l'avenir en utilisant la
39 méthode scientifique et les mathématiques. Cela ne voulait pas dire pour autant que le futur ne
40 fut pas déterminé, mais plutôt que notre connaissance en est limitée tant que nous n'avons pas
41 parcouru toutes les étapes. Pourtant, le discours à la Royal Society indique que les

⁶⁵ (J. Lighthill, Proceedings of the Royal Society, vol. 407 A, p. 35 (1986) cité par François Lurçat dans "Le Chaos et l'Occident")

1 scientifiques ont « *induit en erreur le public* » en répandant des idées fausses « *sur le*
2 *déterminisme des systèmes* ». Cela veut-il dire que non seulement le monde nous est parfois
3 imprévisible mais qu'en plus il est fondamentalement indéterminé ? Ces deux notions sont
4 différentes. Dans un monde imprévisible mais déterminé, nous ne pourrions pas connaître
5 notre avenir mais celui-ci serait tout tracé. Il n'y aurait donc pas de libre arbitre et toutes nos
6 méthodes pour acquérir des connaissances ne nous serviraient qu'à regarder par la fenêtre du
7 train de notre vie sans jamais pouvoir en prendre les commandes. Cependant, il semble que
8 certaines situations particulières sont non seulement imprévisibles, mais également ne sont
9 pas déterminées à l'avance.

10 ***La mécanique quantique : imprévisible ou indéterminée ?***

11 La mécanique quantique s'intéresse à ce qui se passe dans certaines conditions qui ne sont en
12 général pas accessibles à notre observation directe, en particulier dans le monde de
13 l'infiniment petit. A ces échelles, les lois sont différentes de celles qui nous sont familières.
14 Par exemple, la position des particules n'est pas toujours connue précisément. Pire ! Plus on
15 connaît la vitesse d'une particule avec précision, moins on connaît sa position, et vice versa.
16 On appelle cette situation étonnante et pourtant maintes fois vérifiée le « principe
17 d'incertitude », proposé par Werner Karl Heisenberg, physicien allemand qui prit une part
18 importante dans la construction collective de la mécanique quantique. Lorsque nous mesurons
19 précisément si une particule se trouve à un endroit donné nous obtenons bien une réponse : la
20 particule est là ou elle n'est pas là. Mais les lois de la mécanique quantique ne nous
21 permettent pas de prévoir si nous la trouverons, avant que nous ne fassions la mesure. Tous ce
22 que nous pouvons calculer est la probabilité qu'elle s'y trouve. Notre incapacité à prévoir
23 précisément le futur avec la mécanique quantique est-elle une illustration de notre
24 méconnaissance actuelle des lois de la nature ? Est-ce au contraire une limite de la méthode
25 mathématique comme nous l'avons vu avec la complexité ? Ou bien la position de la particule
26 est-elle fondamentalement indéterminée avant que nous effectuions la mesure ?

27
28 La question du déterminisme est cruciale et elle a fait l'objet de nombreuses discussions tout
29 au long de l'histoire des hommes. Elle fait également l'objet de notre prochain chapitre. Nous
30 y continuerons notre enquête en allant chercher de nouveaux indices dans le monde de
31 l'infiniment petit. Nous aurons également certainement à revenir poser quelques questions
32 supplémentaires aux philosophes comme aux mathématiciens.

1

2 **Rapport d'enquête ?**

3 *Les limites des mathématiques pour tout prévoir*

4 Nous avons vu au chapitre précédent que notre science s'est construite sur la découverte de
5 lois mathématiques qui peuvent s'appliquer aux divers phénomènes du monde qui nous
6 entoure. La connaissance de ces lois nous permet de prévoir les phénomènes. Cette capacité
7 d'anticipation est bien pratique pour nous rassurer et nous donner l'impression de pouvoir
8 choisir. Mais si le monde est entièrement prévisible, si le démon de Laplace peut tout prévoir,
9 alors nos choix eux-mêmes sont prévisibles puisque nous appartenons à ce monde que nous
10 observons... Heureusement pour nous, l'évolution des sciences, en particulier au XXème
11 siècle, à mis à jour plusieurs cas où les lois mathématiques ne nous permettent pas de prévoir
12 l'avenir. Nous en avons relevé plus particulièrement deux.

13 *Le chaos est sensible aux conditions initiales... même quand elles ne sont pas mesurables*

14 Tout d'abord le chaos. Certaines lois mathématiques sont si sensibles aux conditions initiales,
15 qu'une minuscule variation de celles-ci peut faire varier le résultat à l'arrivée de façon très
16 importante. Nous en avons vu des exemples en météorologie, en sciences de la terre avec les
17 volcans et les séismes, en mécanique avec les trajectoires instables des corps célestes ou
18 encore en économie avec les fluctuations de la bourse. C'est « l'effet papillon ».

19
20 Au passage, nous avons découvert que nous ne pouvions pas toujours avoir une connaissance
21 absolue de la situation présente. Les Mundurukú qui, contrairement à nous, n'ont pas de noms
22 pour tous les nombres, ont plus de difficultés avec le calcul exact. Par contre, ils nous ont
23 permis de redécouvrir une autre faculté : celle du calcul approximatif. Bien que nous ayons la
24 même capacité qu'eux pour ce type d'évaluation, nous l'avions un peu oubliée, cachée
25 derrière nos progrès en calcul et mathématiques précises. Nous avons pourtant rencontré des
26 grandeurs qu'il ne nous était possible de connaître qu'approximativement, par exemple
27 l'estime dans les systèmes d'économie du don en ethnologie. L'estime ne peut pas être
28 comparée de façon précise à un étalon car il s'agit d'une grandeur « interne » à chacun. Nous
29 pouvons cependant de façon approximative dire qu'elle augmente ou diminue, qu'elle est
30 importante ou faible. Nier « ce qui ne peut être mesuré » ne peut conduire qu'à le remplacer
31 par autre chose qui lui, serait mesurable, substituer la monnaie mesurable à l'estime non-
32 mesurable par exemple. Adieu dans ce cas l'estime, l'amour et beaucoup de valeurs
33 auxquelles nous sommes pourtant attachés.

34
35 Ainsi, dans certains cas, nous ne pouvons fondamentalement pas connaître la situation de
36 départ avec une précision absolue. Or, dans les phénomènes chaotiques, une toute petite
37 modification, même non mesurable, peut donner à l'arrivée un résultat totalement différent.
38 Alors même que les équations mathématiques sont bien établies, nous nous retrouvons avec la
39 possibilité d'avoir à l'arrivée deux résultats dissemblables sans pouvoir voir ce qui fait la
40 différence dans les conditions initiales... et donc sans pouvoir le prévoir.

41

42 *La catastrophe du positivisme*

43 Galileo Galilei, un de nos plus grand scientifiques connu sous le nom de Galilée disait
44 « *mesure ce qui est mesurable et rends mesurable ce qui ne peut pas être mesuré* ». Si la
45 première partie de la citation permet effectivement de faire avancer la connaissance
46 scientifique, la deuxième partie ne prend pas en compte le fait qu'il existe des grandeurs (au

1 sens mathématique du terme) qui ne sont pas mesurables. Cette phrase malheureuse, qui
2 cherche à appliquer les lois de la mécanique au-delà de leur champ d'application, peut être
3 vue comme l'origine de notre vision déformée de la science. Aujourd'hui, les mécaniciens se
4 sont excusés et savent bien qu'il faut se méfier des généralisations. Il reste encore à
5 convaincre beaucoup de personnes qui croient que tout peut être mesuré de façon absolue - en
6 particulier dans les domaines qui s'appliquent aux hommes et aux sociétés. Ils fondent leur
7 capacité de décision sur leur seule capacité de prévoir et d'anticiper. Pourtant, tout ce qui
8 relève de l'humain semble un bon candidat pour voir apparaître des grandeurs non mesurables
9 ainsi que des phénomènes chaotiques. L'économie, la politique, le management ne peuvent
10 pas être traités de façon totalement mécanique, même si cela nous aurait facilité la tâche...

11
12 Depuis longtemps, beaucoup de philosophes pensent qu'il n'y a que deux choses solides sur
13 lesquelles nous pouvons nous appuyer : la raison et les mathématiques appliquées sur des
14 quantités mesurables. L'idée d'introduire des quantités non mesurables est dangereuse, elle
15 risque d'être une porte ouverte à n'importe quelle justification « approximative », au
16 détriment de la raison et des choses mesurables. Pourtant nous ne pouvons pas faire
17 l'économie de rechercher de nouveaux fondements adaptés à ces valeurs non mesurables sous
18 peine d'exclure de notre vision du monde tout ce que nous qualifions souvent « d'humain ».
19 Décidément, depuis que nous enquêtons aux limites de la science, nous avançons entre deux
20 fossés dangereux : croire que la science telle que nous la connaissons est absolue et s'applique
21 partout, d'un côté ; De l'autre côté, revenir en arrière à des approches mythiques qui offrent
22 bien moins de garanties que la science de s'approcher du « Vrai ». Voir les limites de notre
23 compréhension actuelle sans se réfugier dans le passé afin de laisser la porte ouverte à
24 l'avenir : la situation est inconfortable et nous devons rester vigilant à chaque instant.

25 *Au-delà du réductionnisme*

26 Pourtant, si le chaos ne nous permet pas de prévoir ce qui va se passer sur le court terme, il
27 arrive que les phénomènes soient attirés sur le long terme par des « attracteurs étranges ». Les
28 phénomènes chaotiques convergent alors lentement vers une solution toute à fait identifiable.
29 Nous avons rencontré ce cas en météorologie avec la convection. Il est intéressant de noter ici
30 la différence entre une vision locale et à court terme (par exemple un battement d'aile de
31 papillon au Brésil ou bien un ouragan au Texas) et une vision globale et à long terme (les
32 courants de convection sur la planète). Tout se passe comme si découper les problèmes
33 globaux en petites questions élémentaires ne permettait plus de comprendre ce qui se passe de
34 façon globale. Cette vision, appelée le « réductionnisme », ne permet pas de tout comprendre
35 contrairement à ce que pensaient les mécanistes.

36 *En complexité, on ne peut pas savoir avant d'avoir parcouru tout le chemin*

37 Cette séparation ne se retrouve pas seulement entre des phénomènes à court et à long terme :
38 la complexité s'intéresse à la difficulté de passer d'une vision locale des éléments constituant
39 un système à une compréhension de ce qui se passe au niveau global. Lorsque l'on a plusieurs
40 objets (plus de deux) et que ceux-ci interagissent entre eux, il arrive que l'on ne sache plus
41 résoudre les équations interdépendantes qui permettent de les modéliser... même si on sait les
42 poser. Les mathématiques telles que nous les connaissons arrivent à leur limite. Il ne suffit pas
43 de poser n'importe quelle valeur du temps dans une équation pour obtenir n'importe quelle
44 situation passée ou future. Nous avons dû rechercher dans d'autres langues, telles que le Grec
45 ancien, le Pirahãs, le Lapon ou la langue des indiens Huron pour voir cette différence entre
46 une interaction à deux et un système complexe. Dans nos cultures où cette différence est
47 souvent absente de la langue, nous en avons retrouvé trace dans le problème des trois corps de
48 Poincaré et même en psychanalyse chez Lacan.

1
2 Une solution consiste non plus à obtenir une équation mathématique pour l'ensemble du
3 système, mais à appliquer des lois simples à chaque élément et à simuler le système en le
4 regardant évoluer étape par étape. Cette approche évolutionnaire est à l'œuvre dans le jeu de
5 la vie, la machine de Turing - qui est à la base du fonctionnement de tous nos ordinateurs - et
6 dans la « nouvelle sorte de science » proposé par Wolfram. Avec cette méthode, nous
7 pouvons construire des systèmes simples, les laisser évoluer vers la complexité et regarder
8 s'ils donnent la même chose que ce que nous observons dans la nature autour de nous. Nous
9 pouvons même continuer la simulation plus loin et observer le futur de ce système. Mais
10 comment simuler l'ensemble de l'univers en moins de temps que celui dont il a eu besoin
11 pour évoluer... tout en faisant partie de cet univers ? Il semble que même si une loi
12 fondamentale régissant tout l'univers existe, nous ne puissions pas nous en servir pour
13 connaître notre destin.

14 *Notre prochaine étape : le monde est-il indéterminé ?*

15 Parce que nous n'avons pas une connaissance absolue du monde, que tout n'est pas mesurable
16 et que tous les ensembles interdépendants d'équations ne sont pas réductibles à une seule
17 équation, le monde ne nous est pas prévisible. Mais cela ne veut pas dire pour autant que tout
18 n'est pas écrit, même si le grand livre de l'univers ne nous est pas entièrement accessible.
19 Pour aller plus loin, nous devons préciser notre question. Plutôt que de savoir si le monde est
20 imprévisible - ce qui est partiellement le cas - nous devrions nous demander s'il est
21 indéterminé. C'est l'objet de la prochaine étape de notre enquête.

22

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17

Annexes aux parties 1&2

Version 3.2 du vendredi 23 février 2007

1

2 **Index**

3 *Tous les index dans les chapitres seront remplacés par un index général à la fin de l'ouvrage.*

4 *L'idée est d'avoir un premier index classé par science ou art et un deuxième index des*
5 *personnes citées (par un problème non encore résolu, certaines catégories sont doublées)*

6

- | | | | |
|----|--|----|--------------------------------|
| 7 | Astronomie | 50 | Notions de base |
| 8 | épicycles,5 | 51 | abduction,17, 18 |
| 9 | héliocentrisme,5 | 52 | conditions initiales,48 |
| 10 | Complexité | 53 | conjecture,2 |
| 11 | agent,57 | 54 | déduction,18 |
| 12 | approche évolutionnaire,65 | 55 | discussion de comptoir,17 |
| 13 | automates cellulaires,66 | 56 | hypothèse,17 |
| 14 | complication,57 | 57 | induction,15, 18 |
| 15 | jeu de la vie,63 | 58 | la science,7 |
| 16 | problème des trois corps,58 | 59 | mathématiques,23 |
| 17 | réductionnisme,74 | 60 | mesure,14, 55 |
| 18 | sciences du complexe,63 | 61 | modèle,25 |
| 19 | système complexe,57 | 62 | observation,14 |
| 20 | Economie | 63 | ordinateur,27 |
| 21 | bourse (imprévisibilité),57 | 64 | proposition universelle,32 |
| 22 | financement de la recherche,13 | 65 | qualités primaires,15 |
| 23 | fixation du prix,55 | 66 | rasoir d'Occam,20 |
| 24 | monnaie,55 | 67 | réductionnisme,25 |
| 25 | Ethnologie | 68 | réroduction,18 |
| 26 | économie du don,55 | 69 | sérendipité,12 |
| 27 | Mundurukú (tribu amazonienne),54 | 70 | variable,23 |
| 28 | Pirahãs (tribu amazonienne),62 | 71 | Notions de base |
| 29 | Linguistique | 72 | trajectoire,56 |
| 30 | duel (en grec ancien, huron et lapon),61 | 73 | Notions de base |
| 31 | Mathématiques | 74 | discussion de comptoir,22 |
| 32 | attracteurs étranges,52 | 75 | expérience de la croix,28 |
| 33 | calcul numérique,26 | 76 | proposition particulière,32 |
| 34 | chaos,51 | 77 | Personnes |
| 35 | logique,23 | 78 | Anaxagore,15 |
| 36 | mathématiques formelles,24 | 79 | Antisthène,30 |
| 37 | proposition décidable,21 | 80 | Aristote,19 |
| 38 | proposition particulière,22 | 81 | Bachelier, Louis,58 |
| 39 | proposition universelle,22 | 82 | Bacon, Francis,35, 41 |
| 40 | simulation numérique,28, 60 | 83 | Bacon, Roger,33 |
| 41 | Mécanique | 84 | Bardintzeff , Jacques-Marie,50 |
| 42 | démon de Laplace,71 | 85 | Berkeley, George,39 |
| 43 | gravitation universelle,46 | 86 | Bernard, Claude,35 |
| 44 | trajectoires instables,51 | 87 | Boltzmann, Ludwig,51 |
| 45 | Météorologie | 88 | Chomsky, Noam,63 |
| 46 | cellules de Rayleigh-Bénard,49 | 89 | Claude Bernard,30 |
| 47 | effet papillon,48 | 90 | Comte, Auguste,27, 71 |
| 48 | Neuro-physiologie | 91 | Conway, John Horton,63 |
| 49 | proto-conscience,7 | 92 | Copernic, Nicolas,15 |

1	Darwin, Charles,19	51	Saint Augustin,41
2	de Jouvenel , Bertrand,2	52	Saint Thomas d'Aquin,9
3	de Vinci, Léonard,20	53	Sapir, Edward,62
4	Démocrite,19	54	Sarte, Jean-Paul,41
5	Descartes René,25	55	Schelling, Friedrich Wilhem,9
6	Descartes, René,23, 35, 71	56	Schiller,42
7	Diderot,30	57	Schrödinger, Erwin,24
8	Diogène,30	58	Serres, Michel,3
9	Dirac, Paul,24	59	Spinoza, Baruch,39
10	Dollfus, Audouin,35	60	Turing, Alan,69
11	Einstein, Albert,28, 46	61	Von Neuman, John,63
12	Emmanuel Kant,30	62	Whorf, Benjamin Lee,62
13	Epicure,19	63	Wolfram, Stephen,65
14	Everett, Daniel et Kerren,62	64	Yorke, James A.,51
15	Feyerabend, Paul,36	65	Personnes
16	Foucault, Michel,31	66	Archimède,5
17	Freud , Sigmund,8	67	Aristarque de Samos,5
18	Freud, Sigmund,19	68	Aristote,19
19	Galilei, Galileo dit Galilée,15, 74	69	Bohr, Niel,23
20	Gordon, Peter,62	70	<i>Brahe, Tycho</i> ,5
21	Hegel, Georg Wilhem Friedrich,41	71	Descartes, René,46
22	Heisenberg, Werner Karl,72	72	<i>Einstein, Albert</i> ,6, 13
23	Hume, David,19	73	<i>Galilei, Galileo dit Galilée</i> ,6
24	Ignace Semmelweiss,36	74	Girard, René,10
25	Kant, Emmanuel,40	75	Harwit, Martin,12
26	Kepler, Johannes,27	76	Hegel, Georg Wilhem Friedrich,46
27	Lacan, Jacques,61	77	Hume, David,16
28	Laplace, Pierre Simon,71	78	<i>Kepler, Johannes</i> ,6
29	Leibniz, Gottfried Wilhelm von,19	79	Leibnitz, Gottfried Wilhelm,16
30	Li, Tien-Yien,51	80	<i>Newton, Isaac</i> ,6
31	Lighthill, James,72	81	Popper, Karl,16
32	Locke, John,15	82	Ptolémé,5
33	Lorentz, Edward,48	83	Russell, Bertrand,15
34	Lucrece,19	84	Saint Thomas d'Aquin,19
35	Lyapunov, Alexander,51	85	Philosophie
36	Lytard, Jean-François,29	86	chose en soi (la),40
37	Marx, Karl,19, 41	87	cyniques,30
38	Maus, Marcel,55	88	empirisme,15
39	Maxwell, James Clerk,51	89	existentialisme,41
40	Ménodote de Nicodémie,33	90	historicisme,41
41	Merton , Robert K,2	91	idéalisme,19
42	Newton, Isaac,21, 28, 46	92	la philosophie,7
43	Nietzsche, Friedrich,9	93	matérialisme,19
44	Occam, Guillaume d' ,20	94	mécanisme,19
45	Pasteur,36	95	monisme,39
46	Pierce, Charles,18	96	mythes,17
47	Platon,19, 23	97	naturalisme,19
48	Poincaré, Henri,51, 58	98	positivisme,27, 71
49	Popper,Karl,35	99	post-modernisme,30
50	Ptolémé,27	100	postulats de la raison pratique,40

1	scepticisme,33	15	force de Coriolis,50
2	tabula rasa,15	16	transition de phase,69
3	Philosophie	17	Psychanalyse
4	Méthode scientifique,46	18	inconscient,8
5	Physique	19	nœud borroméen,61
6	attraction universelle,28	20	Sciences de l'information
7	gluons,25	21	machine de Turing,69
8	mécanique quantique,72	22	Sciences de la terre
9	principe d'incertitude,72	23	prévision des catastrophes naturelles,50
10	quarks,25	24	séisme,50
11	relativité générale,28	25	volcan,50
12	théorie des cordes,14, 25	26	Sciences de l'information
13	Physique	27	Intelligence Artificielle Evolutive,71
14	convection,49		
28			
29			

30 **Table des encadrés**

31 *Les encadrés ayant un astérisque nécessitent un travail supplémentaire (dessin de l'histoire*
32 *de Philibert à faire, interview à réaliser ou explications à ajouter).*

33			
34	Encadré 1 - La classe de Philibert*	7	
35	Encadré 2 - Qui d'autre a de la conscience ?	9	
36	Encadré 3 - Quand la recherche rencontre l'économie	14	
37	Encadré 4 - Au début était... quoi ?	21	
38	Encadré 5 - Exemple : à la recherche des particules	28	
39	Encadré 6 - Vérification de la théorie de la relativité générale*	32	
40	Encadré 7 - La Maison de la Science	39	
41	Encadré 8 - Témoignage de Audouin Dollfus : de l'observation à l'observation*	40	
42	Encadré 9 - Comment fabriquer un paradoxe	43	
43	Encadré 10 - Philibert et son troupeau*	53	
44	Encadré 11 - Convection et cellules de Rayleigh-Bénard*	59	
45	Encadré 12 - Témoignage de Jacques-Marie Bardintzeff : Du cyclone au séisme*	60	
46	Encadré 13 - Les attracteurs étranges : Lorenz est abonné aux papillons !	62	
47	Encadré 14 - Calculer l'incalculable : l'exemple de Mars et de ses satellites	69	
48	Encadré 15 - Le nœud Borroméen de Lacan	72	
49	Encadré 16 - Le jeu de la vie	74	
50	Encadré 17 - Les automates cellulaires de Stephen Wolfram	76	
51	Encadré 18 - Les différents types de règles du jeu	77	
52	Encadré 19 - Les réseaux sociaux*	80	

1

2 Décomposition des chapitres

3	Au secours, on a tué demain !	3
4	No future	3
5	Sur les lieux du crime.....	3
6	Destin, devenir ou avenir, les multiples identités de la victime.....	3
7	Qui est le coupable ?	4
8	L'enquête démarre.....	4
9	Un immense champ d'investigation	4
10	La dépose par hélicoptère.....	4
11	Qui est « je » ?.....	5
12	En route !.....	5
13	1 ^{ère} partie : qu'est-ce que la science ?.....	6
14	Philibert : Bientôt les vacances	7
15	Les différentes formes de connaissance	9
16	Premier suspect : la science.....	9
17	Agir consciemment pour acquérir de la connaissance	9
18	Apprendre d'un autre ce n'est pas de la science... ..	10
19	D'autres méthodes sont non-conscientes	10
20	Vous avez un message de votre inconscient	10
21	La foi	11
22	Le channeling du New Age	11
23	Le mimétisme c'est... pareil	12
24	Enquête sur la démarche scientifique	13
25	1 ^{ère} étape : observer le réel	14
26	Observer, ça rassure et ça effraie.....	14
27	Trouver le prévu mais aussi l'imprévu.....	14
28	La sérendipité, l'art de découvrir l'imprévu.....	14
29	Que nous reste-t-il à observer ?.....	16
30	...Ce qui était difficile à observer avant.....	16
31	Perdu dans une botte de foin !.....	16
32	Peut-on tout observer ?.....	17
33	2 ^{ème} étape : chercher les qualités premières.....	18
34	Observer, la première étape d'un long chemin	18
35	L'induction pour aller plus loin que l'observation... ..	18
36	...Mais comment aller plus loin que l'induction ?.....	18
37	Explorons les autres pièces de la maison de la science.....	19
38	3 ^{ème} étape : imaginer des hypothèses.....	20
39	Comment les mythes expliquent le monde	20
40	L'abduction	20
41	Trouver des idées	22
42	Petite méthode pour trouver des idées.....	22
43	Lorsque la science devient un Art.....	23
44	Choisir parmi les idées	23
45	Quand Occam donne un coup de rasoir	23
46	Simple is beautiful.....	24
47	4 ^{ème} étape : trouver la loi derrière l'effet	25
48	Il nous faut aller plus loin encore... ..	25
49	Prouve moi que c'est vrai ! - prouve moi que c'est faux !.....	25

1	Les limites de nos discussions.....	25
2	C'est vrai ou c'est faux ? ... Je n'en sais rien, c'est une hypothèse.....	26
3	De la logique de la philosophie à la modélisation mathématique en science.....	26
4	Les mathématiques forment un bon outil de divination.....	27
5	Mais les mathématiques ne font pas tout	27
6	La tour de Babel est de retour	27
7	Les mathématiques ne sont pas toujours rigoureuses.....	28
8	Le réductionnisme	28
9	Les lois sont partielles	28
10	Le modèle réduit prend son envol	28
11	La synthèse : pas facile de faire un puzzle !.....	29
12	Aucune étape de la démarche n'est suffisante en soi	29
13	5 ^{ème} étape : prévoir de nouveaux phénomènes observables	31
14	Pour prévoir, calculons !	31
15	Le calcul numérique	31
16	Le monde passé à la moulinette.	31
17	Prévoir, c'est mourir un peu	31
18	La mise à l'épreuve de la théorie	32
19	Préparer une expérimentation.....	32
20	Kepler, Newton et Einstein la tête dans les étoiles	32
21	Un monde simulé	32
22	Calculer pour prévoir... ou pour ne pas observer	32
23	Ajuster la théorie par l'observation	33
24	La fin des philosophes.....	33
25	Nous avons perdu la raison... ..	33
26	Le sens est mort, vive le pragmatisme !.....	34
27	6 ^{ème} étape : expérimenter.....	35
28	Il existe deux types d'observation	35
29	Une différence importante.....	35
30	Observer n'est pas expérimenter... et vice versa	35
31	L'expérience est-elle toujours possible ?	36
32	Quand on ne peut pas expérimenter	36
33	Sommes-nous des scientifiques ?.....	36
34	L'expérimentation ne permet que de réfuter, pas de prouver.....	37
35	Le dilemme entre observation et théorie	37
36	Quelle est la puissance de la Science ?	37
37	La démarche scientifique	38
38	La méthode expérimentale, une longue histoire.....	38
39	La (re)découverte de Roger Bacon.....	38
40	Et la boucle est bouclée	38
41	Parcourir le cycle jusqu'à trouver la bonne explication.....	41
42	Petite histoire à l'hôpital général de Vienne	41
43	Il ne faut pas rater une marche !.....	42
44	Quand on ne voit qu'une seule étape... ..	42
45	...on oublie les autres	42
46	Et si on oublie de faire des hypothèses ?.....	42
47	Des épicycles à la physique des particules.....	42
48	L'approche pragmatique par les rustines	42
49	Alors c'est vrai ou c'est faux ?.....	43
50	Mais où est passée la réalité ?	45

1	On a perdu la Vérité...	45
2	...Même quand tout semble parfait	45
3	Nous ne voyons le monde qu'à distance depuis différents points de vue	45
4	Et si la Vérité n'existait pas ?	45
5	Notre liberté aussi est-elle aussi inaccessible ?	46
6	Quelques questions que l'on ne peut pas résoudre	46
7	La chose en soi et la chose en moi	46
8	Tant pis pour la Vérité, vive le pragmatisme !	46
9	A défaut d'atteindre la Vérité, ses représentations peuvent nous être utiles	46
10	Faire du neuf	46
11	L'histoire au secours de notre subjectivité	47
12	A la recherche du sens	47
13	Notre vie a-t-elle encore un sens ?	48
14	Les dangers d'un monde prévisible	48
15	Dernière tentative pour retrouver la liberté dans un monde prévisible	48
16	Notre prochaine question : la prévisibilité du monde	48
17	Rapport d'enquête	49
18	Sur les lieux du crime	49
19	Examen minutieux de la maison de la Science	49
20	Chaque recoin a été fouillé	49
21	Les contraintes de la démarche scientifique	50
22	Dans l'ombre se cachent des trésors	50
23	2 ^{ème} partie - Le monde est-il imprévisible ?	52
24	Philibert : En route !	53
25	Une science basée sur la prévision	55
26	Retour sur la maison de la science	55
27	A la recherche d'une bonne théorie	55
28	Revenir pour affiner les lois	55
29	Tout est-il prévisible ?	56
30	Un monde de mécaniciens	56
31	A la recherche de nouveaux indices	56
32	Premier problème : le monde c'est le chaos !	58
33	Rencontre avec un Météorologiste	58
34	Le pouvoir des papillons...	58
35	... et le pouvoir de Bénard...	59
36	Encadré 11 - Convection et cellules de Rayleigh-Bénard*	59
37	Le court et le long terme : deux poids deux mesures	60
38	Physique : Des trajectoires instables prémices à la théorie du chaos	60
39	Un histoire déjà ancienne	60
40	Quand un caillou fait des choses étonnantes dans l'espace	61
41	Partout du chaos et de l'étrange !	61
42	Des économistes, des chimistes et des chiens...	61
43	La science introduit de l'étrange	62
44	Encadré 13 - Les attracteurs étranges : Lorenz est abonné aux papillons !	62
45	Le chaos est-il imprévisible ?	63
46	Calcul précis et calcul approximatif	64
47	Ethnologie : quand des populations tribales nous rappellent certains aspects subtils..	64
48	Les neurones du comptage pour le calcul exact	64
49	Mathématiques : De l'importance du calcul approximatif	65
50	Les grandeurs non mesurables	65

1	Chaos + phénomènes non mesurables = imprévisibilité	66
2	Deuxième problème : le monde est complexe... ..	67
3	Quand plusieurs éléments forment un tout.....	67
4	Changement de point de vue	67
5	Economie : la bourse, chaotique et complexe... ..	67
6	C'est pas si compliqué !	67
7	Parfois nous ne savons même pas résoudre des équations simples !	68
8	Mécanique : le problème des trois corps de Poincaré	68
9	Mathématiques : la fin de la téléportation	68
10	Il faut parcourir tout le chemin pour connaître l'arrivée	70
11	La magie du nombre trois.....	71
12	Linguistique : un peu de grammaire.....	71
13	Psychanalyse : le nœud borroméen	71
14	Ethnologie : les mathématiques Pirahãs	72
15	Comment découvrir nos propres limitations ?	73
16	Les systèmes évolutionnaires	73
17	L'exemple du jeu de la vie	73
18	Un nouveau type de science : l'approche (r)évolutionnaire de Stephan Wolfram.....	75
19	Le chaos et la complexité réapparaissent... et même la capacité à faire des calculs !.	78
20	La complexité, à cheval entre l'ordre et le désordre	79
21	Des automates aux agents autonomes	80
22	Tout est évolutif dans le monde : de la vie à l'intelligence.....	81
23	Il faut aller plus loin	82
24	Quand les mécaniciens présentent leurs excuses au « public instruit »	82
25	« Rien ne serait incertain... »	82
26	« Nous souhaitons nous excuser collectivement »	82
27	De l'imprévisibilité à l'indétermination	82
28	Le monde est-il tout tracé... même si nous ne le savons pas ?	82
29	La mécanique quantique : imprévisible ou indéterminée ?.....	83
30	Rapport d'enquête ?	84
31	Les limites des mathématiques pour tout prévoir.....	84
32	Le chaos est sensible aux conditions initiales... même quand elles ne sont pas	
33	mesurables	84
34	La catastrophe du positivisme	84
35	Au-delà du réductionnisme	85
36	En complexité, on ne peut pas savoir avant d'avoir parcouru tout le chemin.....	85
37	Notre prochaine étape : le monde est-il indéterminé ?.....	86
38	Annexes aux parties 1&2	87
39	Index.....	88
40	Table des encadrés	90
41	Décomposition des chapitres.....	91
42	Notions abordées	95
43	Dans le chapitre 1	95
44	Dans le chapitre 2.....	96
45	Relecture.....	97
46	Relecture de l'introduction et du chapitre 1	97
47	Relecture du chapitre 2.....	97
48	Reste à ajouter dans ce chapitre	99
49	A prévoir dans les prochains chapitres.....	100
50		

1

2 **Notions abordées**

3 *(Cette partie ne sera pas dans le livre mais doit aider à compléter la liste des relecteurs dans*
4 *divers domaines)*

5 **Dans le chapitre 1**

- 6 • **Au pays de la connaissance**
- 7 ▪ Général : Différents modes d'acquisition de la connaissance (consciente ou
- 8 transmise)
- 9 → Agir consciemment pour acquérir de la connaissance (Science et Philosophie)
- 10 ▪ Zoologie : proto-conscience chez les singes supérieurs
- 11 → Acquérir de la connaissance par les autres (apprentissage et mimétisme)
- 12 ▪ Cognition : transmission volontaire du savoir et mimétisme
- 13 → Acquérir de la connaissance inconsciemment (inconscient, religion, new age)
- 14 ▪ Psychanalyse : Communication entre l'inconscient et le conscient
- 15 ▪ Religion : Place de la révélation et de la raison (Saint Thomas d'Aquin)
- 16 ▪ Philosophie : « Esprit du monde » des romantiques
- 17 ▪ Epistémologie : causalité et finalité
- 18 ▪ Mathématiques : propositions décidables, existentielles et universelles, programme
- 19 de Hilbert
- 20 ▪ Philosophie : Mort de Dieu (Nietzsche) et nouvelle spiritualité (New Age)
- 21 → Une enquête est un moyen d'acquérir de la connaissance consciemment
- 22 • **Observer le réel**
- 23 • Astronomie : observations d'Anaxagore sur les météorites et de Galilée sur Jupiter
- 24 • Epistémologie : Observation et Expérimentation et statistiques
- 25 • Epistémologie : toutes les sciences sont-elles des sciences ?
- 26 • Notions de base : Mesure et grandeurs non mesurables
- 27 • Philosophie : Empirisme : tabula rasa, qualités primaires et secondaires
- 28 • Philosophie : les mythes
- 29 • Notions de base : le rasoir d'Occam
- 30 • Astronomie : découverte de l'héliocentrisme : des épicycles à l'attraction universelle
- 31 • Philosophie : idéalisme et matérialisme ; l'association d'idées chez Hume
- 32 • Philosophie : raison et mathématiques
- 33 • Mathématiques : mathématiques formelles, fonctions et variables, différentes théories
- 34 • Sciences et philosophie : réductionnisme
- 35 • Physiques : constituants de la matière : atome, noyau, nucléons, quarks, super-cordes...
- 36 • Mathématiques : modélisation
- 37 • Philosophie : rationalisme et empirisme, monisme et dualisme
- 38 • Mécanique : prévision de la position des astres (calendrier, Ptolémé, Kepler, Einstein)
- 39 • Physique : vérification de la relativité générale à l'occasion d'une éclipse
- 40 • Philosophie : le positivisme
- 41 • Mathématiques : la simulation numérique
- 42 • Philosophie : le post-modernisme
- 43 • Histoire des sciences : la méthode expérimentale
- 44 • Logique : les paradoxes
- 45 • Economie : financement de la science
- 46 • Philosophie : la réalité a-t-elle un sens ? monisme, dualisme, historicisme, existentialisme

- 1 **Dans le chapitre 2**
- 2 ☞ Histoire de Philibert : un troupeau de brebis menées par un berger des Pyrénées
- 3 ☞ Astronomie : histoire - Kepler, Newton
- 4 ☞ Météorologie : effet papillon compensé par les cellules convectives
- 5 ☞ Chaos : histoire, attracteurs étranges versus attracteurs, bourse (minima locaux),
6 différence entre chaos et complexité
- 7 ☞ Complexité : trajectoires instables, problème des trois corps, la simulation remplace la
8 résolution des équations
- 9 ☞ Linguistique : le duel, 3^{ème} nombre en grec ancien, huron et lapon
- 10 ☞ Psychanalyse : spécificité du nombre deux pour Jacques Lacan, nœud borroméen
- 11 ☞ Linguistique : la numération chez les Pirahãs et les Mucurundus, le déterminisme
12 linguistique ou la « grammaire universelle »
- 13 ☞ Economie : économie du don et réputation comme monnaie d'échange
- 14 ☞ Mathématiques : calcul approximatif et grandeurs non mesurables
- 15 ☞ Complexité : systèmes évolutionnaires, automates cellulaires et jeu de la vie
- 16 ☞ Sciences de l'information : machine de Turing, General Problem Solver, Intelligence
17 artificielle évolutive
- 18 ☞ Epistémologie : la raison chez les grecs, mécanisme, positivisme, démon de Laplace
- 19 ☞ Epistémologie : différence entre l'imprévisibilité et l'indéterminisme

1

2 Relecture

3 Relecture de l'introduction et du chapitre 1

4 Corrections Prises en compte dans cette version

- 5 • Vu par Arnaud Klein le mercredi 23 février 2005. Corrections intégrées, en particulier les
6 commentaires généraux
- 7 → J'ai adoré l'intro, très entraînante. Je trouve que le chapitre 1 est aussi très intéressant,
8 beaucoup plus dense, mais on comprends à la fin le sens de ce chapitre. J'aurais aimé
9 quand même que ce soit encore plus explicité dans le chapitre (surtout le milieu très
10 riche et assez lourd à lire).
- 11 → J'ai l'impression que l'on pourrait donner plus de clés de lecture afin de faciliter la
12 linéarité du texte. Comme dans le chapitre 2 (mais avec une moindre mesure) on se
13 perd parfois dans les idées des penseurs et exemples.
- 14 → Par contre, tout est clair en fin de chapitre, où on comprends le pourquoi de tant
15 d'explorations successives. Il me semble que cela pourrait passer par des points
16 intermédiaires plus réflexifs, des paragraphes de liaison clair qui annoncent la suite.
- 17 • Relu par François Elie avec de nombreuses notes philosophiques et une copie de son cours
18 d'épistémologie pour intégrer dans le texte quelques concepts manquants (La critique de
19 l'induction, la différence entre observation et expérimentation, différents essais pour
20 construire une théorie...)
- 21 • Ajout des notions introduites dans l'article de *Pek Van Andel*, *sérendipité ou « l'art de*
22 *faire des trouvailles »*, in *Automates Intelligent*, mars 2005
- 23 • Reprise du plan pour mieux enchaîner les différents concepts
- 24 • Prise en compte des commentaires de Françoise Massit Folléa, Janine Blanc, Jacques-
25 Marie Bardintzeff, Audouin Dollfus.

26 Relecture du chapitre 2

27 Corrections Prises en compte dans cette version

- 28 ☞ Corrections mineures d'Arnaud Klein, de Jacques-Marie Bardintzeff, Marc Jeanson,
29 Pascal Acot et Audouin Dollfus.
- 30 ☞ Ajout d'une synthèse en fin de chapitre (Thierry Michel)
- 31 ☞ Vérification que les points indiqués par Jean-Paul Baquiast sont bien pris en compte dans
32 un des chapitres du livre (remise en cause du réalisme : interview prévue de la
33 physicienne Miora Mugur Schachter ; linguistique et robots : dans plusieurs chapitres ;
34 mémétique : chapitre 4 sur les mondes des possibles ; conscience et libre arbitre : le thème
35 même de « l'enquête »
- 36 ☞ Images replacées dans le texte
- 37 ☞ Thème de l'Enquête dans tout le texte (vu lors de la rencontre de pilotage du 16/12/2004,
38 également proposé par Arnaud Klein)
- 39 ☞ **légendes plus complètes** dans les encadrés d'illustrations (vu lors de la rencontre de
40 pilotage du 16/12/2004)
- 41 ☞ A propos des "**attracteurs étranges**", notion importante, je trouve le texte un peu court.
42 On aimerait plus de précisions, par exemple un second exemple (Audouin Dollfus)
- 43 ☞ Même chose pour la "**convection**", qui tempère l'effet papillon. Expliciter un peu.
44 (Audouin Dollfus)
- 45 ☞ Eclaircir certains passages dans la théorie des trois corps (Arnaud Klein et Marc Jeanson)

1 ☞ Prise en compte des commentaires de Françoise Massit Folléa, Janine Blanc, Jacques-
2 Marie Bardintzeff, Audouin Dollfus.

3 Points discutés :

- 4 • les quelques phrases consacrées à la **physique quantique** sont insuffisantes (point 1 de
5 Jean-Paul Baquiast) :

6 → Oui, là je dois reconnaître que je suis mal à l'aise. j'ai hésité entre mettre la physique
7 quantique dans ce chapitre (imprévisibilité) ou dans le suivant (indéterminisme).
8 Actuellement, après les expériences sur le paradoxe EPR (Einstein Podolky Rosen) en
9 particulier celles de Alain Aspect il y a 25 ans, on penche vers l'approche de
10 Copenhague et vers une vision indéterministe de la mécanique quantique.

11 → Mais j'ai l'impression que contrairement à d'autres aspects fondamentalement
12 indéterministes (Göedel, Epiménide...), rien ne nous prouve que la mécanique
13 quantique n'est pas déterministe même si elle est imprévisible. Bien sur il n'y a pas de
14 variables cachées comme le pensait Einstein, mais si on prend en compte la phase
15 alors il est possible que la réduction du paquet d'onde qui est le fondement de cette
16 imprévisibilité ne soit qu'une affaire de situation d'énergie la plus basse (les deux
17 particules n'interagissent pas ou bien les deux particules forment un système au moins
18 pendant un instant et donc interagissent).

19 → Mais cela est encore de la conjecture et donc si j'ai l'impression que la mécanique
20 quantique n'est "que" imprévisible (comme par exemple le chaos), il est difficile
21 d'écrire qu'elle est déterministe (ou même que l'on peut remettre en cause l'idée
22 générale qu'elle est indéterminée). Peut être avez-vous des références qui montreraient
23 au moins qu'il y a débat (ce qui serait alors plus simple à présenter dans le premier
24 chapitre). En bref j'ai fait une côte mal taillée entre l'imprévisibilité et l'indéterminisme
25 pour la mécanique quantique mais il faudrait trancher entre la mettre dans ce chapitre,
26 le suivant ou... indiquer qu'il s'agit d'un débat.

27 → Conclusion : Il me semble que dans tous les cas ce débat doit avoir lieu dans le
28 chapitre sur l'indéterminisme plutôt que dans celui sur l'imprévisibilité. Il faut voir
29 s'il faut laisser un petit peu de la partie sur la mécanique quantique sur le chapitre sur
30 l'imprévisibilité ou tout reporter sur le débat qui est prévu pour le chapitre sur
31 l'indétermination.

- 32 • La partie sur le "**calcul approximatif**" et les "valeurs non mesurables", d'une importance
33 capitale, est seulement esquissée. Le sujet mériterait en soi une étude et un chapitre
34 particulier (mais faut-il et peut-on le faire?). On sent que l'immense majorité de ce qui
35 nous entoure est non mesurable et que là se trouve une limitation majeure dans la quête
36 des connaissances, la prédiction et le choix du futur. Les philosophes, les historiens, les
37 politiciens, les sociologues, les médecins, etc. parmi tant d'autres, sont imprégnés de
38 valeurs non mesurables et se débattent avec.

39 Probablement la suite de l'ouvrage montrera-t-elle que, sans de gros progrès dans le
40 maniement du non mesurable, ou dans l'art de ramener au mesurable, il semble bien que le
41 monde ne restera essentiellement prévisible que dans ses aspects surtout matériels
42 (Audouin Dollfus)

43 → Pour la partie sur le calcul approximatif, je ne l'avais pas prévu initialement mais je
44 vous rejoint sur le fait que cela me semble fondamental. Du coup, cela alourdi (et
45 allonge) beaucoup ce chapitre. Je pense effectivement que les deux pages qui y sont
46 consacrées pourraient servir d'embryon à un chapitre mais je ne vois pas bien où le
47 mettre dans l'enchaînement des idées : 1) imprévisibilité 2) indéterminisme 3)
48 plusieurs solutions possibles 4) choix d'un des possibles 5) création du "réel" ?

- 1 → Conclusion : Le calcul approximatif est à mettre après la partie sur le chaos en y
 2 ajoutant un débat sur l'incertitude des mesures et donc le coté fondamental de
 3 l'imprévisibilité dans la théorie du chaos.
- 4 • **Cellules convectives compensant l'effet papillon** : Je ne connais pas de modélisateurs du
 5 climat qui approuveraient ce que vous avancez sur les cellules convectives. On en connaît
 6 les mécanismes depuis l'entre-deux guerres. Ce n'est pas pour autant que nous pouvons,
 7 aujourd'hui prévoir le temps de manière fiable au-delà de 5 jours. Tout dépend des
 8 moyens de calcul (Pascal Acot)
 - 9 → Pour ce qui est des cellules convectives, j'ai effectivement une difficulté. D'un coté
 10 l'article de Raoul Robert "La météorologie, un système complexe ?" Pour la Sciences
 11 spécial complexité n°314 p140 montre que l'effet papillon est atténué par la statistique
 12 :
 - 13 <http://www.pourlascience.com/index.php?ids=mHhpGAVPoalEoNdUeUmN&Menu=Pls&Action=3&idn3=3675> (j'ai également trouvé un article cette fois en ligne de 2001
 14 : <http://people.sca.uqam.ca/~presyn/NotesdeCoursS2611/LEffetPapillonClarifie.pdf>
 15 "l'effet papillon n'existe plus")
 - 16 → D'un autre coté, il ne parle pas de convection. J'ai sans doute fait un rapprochement
 17 trop hâtif. Il semble que ce soit un autre phénomène qui atténue l'effet papillon (mais
 18 pourtant la prévision à long terme n'est pas possible même si on diminuait la taille des
 19 mailles du modèle et des éléments mesuré ?)
 - 20 → Il faut sans doute plus creuser le sujet pour savoir : 1) si la prévision à long terme n'est
 21 pas possible uniquement du fait des puissances de calcul disponible et de la taille des
 22 mailles pour les mesures ou bien si cela est du au Chaos - 2) Si la théorie de Raoul
 23 Robert est reconnue au niveau des météorologues et dans ce cas qu'est-ce qui
 24 compense le chaos si ce n'est pas les cellules convectives.
 - 25 • Conclusion : bien distinguer la prévision à court et moyen terme des auto-organisations
 26 sur le long terme
- 27
28

29 **Reste à ajouter dans ce chapitre**

- 30 • Dessins de Philibert
 - 31 → pour l'encadré n°1 (p5)
 - 32 → pour l'encadré n°10 (p45)
 - 33 • Rédaction des encadrés
 - 34 → n°6 - vérification expérimentale de la relativité générale (p28)
 - 35 → n°11 - Convection et cellules de Rayleigh-Bénard (p49)
 - 36 → n°19 - Les réseaux sociaux (p70)
 - 37 • Témoignages
 - 38 → Audouin Dollfus sur le cycle scientifique (encadré n°8 p35)
 - 39 → Jacques-Marie Bardintzeff sur la prévisibilité des cyclones et séismes (encadré n°12
 40 p50)
 - 41 → Luc Trulleman, météorologiste Belge, spécialiste de la prévision des mouvements de
 42 masse d'air, impliqué dans l'étude des déplacements de nuages radioactifs après
 43 Tchernobyl (proposé par Audouin Dollfus pour la partie rencontre avec un
 44 météorologiste p48 - pour l'encadré n°11 sur la convection et les cellules de Rayleigh-
 45 Bénard ?)
 - 46 → Jacques Laskar, sur les travaux novateurs sur les trajectoires instables des corps
 47 célestes développés par l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides
 48 IMCCE de l'observatoire de Paris
- 49

1 **A prévoir dans les prochains chapitres**

- 2 • Discussion sur l'indéterminisme ou non de la mécanique quantique (chapitre 3)
- 3 • La place de l'intuition (chapitre 4)